DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Vierzehnter Jahrgang | 4. Juni 1926 | Heft 23

DEM ANDENKEN AN JOSEPH FRAUNHOFER

ZUR JAHRHUNDERTFEIER SEINES TODESTAGES

*

Inhalt:

Seite

Die Lehre von der Beugung bis zu FRESNEL und FRAUNHOFER. Von H. BOEGEHOLD, Jena 523

FRAUNHOFER als Mechaniker und Konstrukteur. Von FR. MEYER, Jena 533

JOSEPH FRAUNHOFER als der Schöpfer der deutschen Feinoptik. Von M. VON ROHR, Jena 539

FRAUNOFERS Forschungen zur Glasbeschaffenheit und Farbenhebung sowie seine Leitung der Glashütte zu Benediktbeurn. Von M. v. ROHR, Jena 553

Die Lehre von der Beugung bis zu Fresnel und Fraunhofer.

Von H. Boegehold, Jena.

Als A. Fresnel 1815 und Jos. Fraunhofer wenige Jahre später ihre Untersuchung der Beugungserscheinungen begannen, da war die Beschäftigung der Physiker mit dieser Eigenschaft des Lichtes 150 Jahre alt, hatte aber nur zu einer Sammlung unerklärter und praktisch nicht benutzter Beobachtungen geführt[1]).

F. M. Grimaldi veröffentlichte 1665 die ersten hierher gehörenden Beobachtungen. Er beobachtete in einem verdunkelten Zimmer, worin ein Lichtbündel durch eine enge Öffnung auf die Hinterwand oder einen weißen Schirm fiel. In den Lichtkegel stellte er einmal einen schmalen, undurchsichtigen Körper (ein Haar, eine dünne Platte), das andere Mal einen Schirm mit einer engen Öffnung. Er bemerkte, daß im ersten Falle der aufgefangene Schatten, im zweiten der helle Kreis auf dem Auffangschirme viel breiter war, als die geometrische Projektion erwarten ließ. Im ersten Falle sah er auch farbige, zwei blaue und zwei rote Streifen, die der Schattengrenze parallel waren; etwas verwickelter wurde die Erscheinung, wenn der schattengebende Körper die Gestalt eines Winkels (etwa Γ) hatte. Bei sehr starkem Lichte fand Grimaldi auch innerhalb des Schattens farbige Streifen.

Über die Maßverhältnisse ist ihm bekannt, daß die Öffnungen (oder der schattengebende Körper) klein, die Abstände zwischen der Öffnung des Ladens und dem Hindernis sowie zwischen diesem und der Wand groß sein müssen, er gibt folgendes Beispiel:

lichtgebende Öffn. $^4/_{300}$ bis $^5/_{300}$ röm. Fuß = 4–5 mm.
Öffn. im Schirm $^{25}/_{300}$ bis $^{30}/_{300}$ röm. Fuß = 25–30 mm.

Der Abstand des Schirmes von der lichtgebenden Öffnung und der der Wand vom Schirme müsse mindestens 12 Fuß = 3,6 m sein.

Die erwähnten Versuche bilden den Anfang des Grimaldischen Werkes (1—11). An einer späteren Stelle (231/2) führt er, unter ausdrücklicher Betonung der Gleichartigkeit der Ursache Versuche an, bei denen die Beugung an einer spiegelnden Oberfläche eintritt. Das Licht wird wieder durch eine enge Öffnung eingelassen, fällt auf die (metallische) Oberfläche, die viele kleine Unregelmäßigkeiten (Ritzen u. dgl.) hat und wird auf der Wand aufgefangen. Man sieht außer Wellenlinien verschiedenster Art wieder Farbenstreifen[1]). Statt der Platte genüge ein Metallfaden. Indem Grimaldi hier die Regenbogenfarben anführt, die man beim Blick auf sonnenbeleuchtete Spinnfäden wahrnimmt, führt er auch — in unserer Bezeichnung — eine Fraunhofersche Beugungserscheinung an.

R. Hooke teilt (1672) eine Anzahl ähnlicher, vielleicht unabhängig angestellter Versuche mit. Neu ist seine Beobachtung, als er in den Lichtkegel keinen schmalen, sondern einen breiten Körper (einen scharf, schneidenförmig, begrenzten Schirm) einführte, der einen Teil des Kegels völlig abschnitt. Er sah, daß sich auf dem Schirm ein Lichtschein weit in den Schatten hinein erstreckte.

Is. Newton widmete der Beugung das dritte Buch seiner Optik (1704). Obwohl er seine Versuche vorzeitig abbrach, boten sie doch viel Neues. Zunächst beobachtete er mit viel kleineren Öffnungen und Körpern als Grimaldi. Die lichtgebende Öffnung hatte $^1/_{42}$ (engl.) Zoll = 0,60 mm Durchmesser, als schattenwerfender Körper diente ein Haar, dessen Durchmesser $^1/_{280}$ Zoll = 0,091 mm betrug. Als beugende Öffnung benutzte er den Spalt zwischen zwei Messerschneiden, den er bis auf $^1/_{490}$ Zoll = 0,063 mm verengen konnte. Infolgedessen vermochte er statt der drei Farbensäume Grimaldis vollständige Spektren zu beobachten.

Die Schattenbeobachtung wiederholte Newton, indem er, statt weißes Licht auf das Haar zu werfen, ein Prisma vor die lichtgebende Öffnung stellte und damit nahezu einfarbiges Licht anwandte. Er erhielt nun helle und dunkle Streifen, die bei rotem Lichte am breitesten waren, darauf konnte er die Beschaffenheit der Spektren zurückführen, bei denen das Rot außen war.

Von Wichtigkeit ist weiter, daß Newton die ersten Versuche machte, die Erscheinung messend zu verfolgen und sowohl ihre Abhängigkeit von der Entfernung des auffangenden Schirmes wie auch beim Spaltversuch von der Entfernung der Schneiden voneinander zu ermitteln.

Beim Haarversuch fand Newton, daß die Ausdehnung des Schattens bei weiterem Abstande des

[1]) Wegen Zeitmangels habe ich nur einen Teil der für die Vorgeschichte in Frage kommenden Abhandlungen eingesehen und bin bei den übrigen der Darstellung von J. Priestley gefolgt.

[1]) Priestley S. 138 schreibt diesen Versuch C. F. M. Dechales zu (1674), der vielleicht anstatt der Metallplatte zuerst eine Glasplatte mit Ritzen genommen hat, eine richtigere Angabe hat J. B. Biot S. 773.

auffangenden Schirmes beständig zunahm, aber freilich diesem Abstande nicht proportional war. Er gibt an[1]):

Haar-Auffangeschirm	Schattenbreite
4 Zoll = 0,102 m	$^1/_{60}$ Zoll = 0,42 mm = 4,5 Haarbr.
2 Fuß = 0,609 m	$^1/_{88}$ Zoll = 0,91 mm = 10 Haarbr.
10 Fuß = 3,045 m	$^1/_{8}$ Zoll = 3,17 mm = 35 Haarbr.

Weiter maß er bei weißem Licht in zwei verschiedenen Entfernungen außer der Breite des Schattens auch die hellsten Stellen der Spektren auf der auffangenden Teilung. Beim Spaltversuch suchte er die Fransen im Innern des Lichtspalts zu messen und ihre Abhängigkeit von der Spaltbreite festzustellen, indem die Schneiden nicht parallel, sondern in einem Winkel zueinander aufstellte und den Verlauf der Fransen in verschiedenen Entfernungen des Auffangeschirms beobachtete.

Zur Erklärung der Beugung nahm NEWTON eine abstoßende Kraft der Teilchen des Körpers auf die Teilchen des Lichtes an, die für die roten Lichtkörperchen am größten sei. Daß der Schatten nicht proportional dem Abstande wachse, erklärt er daraus, daß die dem Rande nächsten Teilchen stärker abgelenkt würden als die ferneren, und daher die Bahnen einander schnitten. Die bei einfarbigem Lichte hellen und dunkeln Säume sucht er dadurch begreiflich zu machen, daß die Lichtteilchen „in aalartiger Bewegung mehrmals hin und her gebeugt würden", andere Anhänger der Emanationstheorie haben eine periodische Wirkung der Kräfte angenommen.

Seltsamerweise leugnet NEWTON (S. 218, Frage 28) die im geometrischen Schatten zu beobachtenden Beugungserscheinungen geradezu ab, obgleich einige von seinen Vorgängern schon festgestellt waren und er selbst den HOOKEschen Schneidenversuch auch wiederholt hat (S. 91/2, 5. Beob.). Seine Nachfolger mußten zu ihrer Erklärung noch eine anziehende Kraft annehmen, wodurch die Theorie immer verwickelter wurde, ohne doch die Erscheinungen ihre Größe nach aufklären und voraussagen zu können.

Für das 18. Jahrhundert sei von den Beobachtern der Beugung G. F. MARALDI (1723) erwähnt. Ein Teil der von ihm gesehenen Erscheinungen ist nicht der Beugung, sondern subjektiven Gründen (Kontrast!) zuzuschieben[2]). Er wiederholt mit kleinen Änderungen die Versuche seiner Vorgänger, wird aber namentlich später noch wegen einer Beobachtung anzuführen sein.

TH. YOUNG war es, der (1802—1804) bekanntlich den Interferenzgrundsatz in die Optik einführte. Er erklärte daher auch die Beugung zuerst durch das Zusammenwirken mehrerer Lichtstrahlen, wenn auch, wie gleich zu erwähnen, in nicht ganz befriedigender Weise. Ein oft erwähnter Versuch von ihm bestand darin[1]), daß er die Fransen innerhalb und außerhalb des Schattens eines dünnen Körpers beobachtete und nun das von dem einen Rande nach dem Auffangeschirm gehende Licht abfing; sogleich verschwanden die inneren Fadenstreifen, es wirkte nur der andere Rand wie beim HOOKEschen Schneidenversuch. Eine Abänderung hat später F. ARAGO (*) angegeben.

Unmittelbar vor dem Auftreten FRESNELS erschien der 4. Band des Lehrbuchs der Physik von J. B. BIOT[2]); der Verfasser gibt (S. 743 ff.) eine Anzahl von ihm in Gemeinschaft mit C. S. M. POUILLET angestellte Versuche. Die lichtgebende Öffnung war 1 mm breit. Statt des Auffangeschirms wurde ein Mattglas verwandt. Die Beobachter fanden zunächst die farbigen, oder bei einfarbigem Lichte hellen und dunkeln Ringe, die bei Einschaltung eines (zweiten) runden Loches sich zeigten; sie stellten diese bei verschiedenen Entfernungen der Mattscheibe und auch ohne Mattglas bei einfacher Durchsicht durch das Loch (also der FRAUNHOFERschen Erscheinung) fest. Dann aber gingen sie zum Spaltversuch über und beobachteten mit möglichst einfarbigem, aus dem Prismenspektrum ausgesondertem Lichte. Sie sahen so eine weit größere Zahl von hellen und dunklen Streifen als ihre Vorgänger.

Hier findet sich zunächst ein Unterschied angedeutet, dessen logische Verfolgung zur Einteilung der Beugungserscheinungen in die FRAUNHOFERschen und die FRESNELschen geführt hat (S. 748/9). Die Verfasser stellten zunächst ihre auffangende Mattscheibe in eine solche Entfernung, daß „keine neuen Streifen mehr entstehen, die Erscheinung vollständig ist", sodann suchen sie die Ausbildung der Erscheinung in größerer Nähe zu beobachten. Für die „vollständige" Erscheinung erhalten sie folgende Gesetze:

1. Bezeichnet man die Entfernung des ersten dunklen Streifens von der hellen Mitte mit $2e$, so haben die dunklen Streifen von ihr die Entfernungen $2e$, $4e$, $6e$, $8e$ . . ., die hellen die Entfernungen $3e$, $5e$, $7e$, $9e$ . . . Die Verfasser machen darauf aufmerksam, daß das nämliche Gesetz für die Entstehung der NEWTONschen Streifen bei dünnen Platten gilt, nur daß hier e dem Dickenunterschied proportional ist.

2. Für Licht verschiedener Farbe verhalten sich (bei festem Schneidenabstand) die Werte von e bei den Beugungserscheinungen ebenso wie bei den NEWTONschen Platten.

3. Bei einem Mittel von höherem Brechungsverhältnis n wird die Breite der Streifen im Verhältnis $1 : n$ zusammengezogen.

4. Die Erscheinung unterscheidet sich von der

[1]) Es sei hinzugefügt, daß das Haar von der lichtgebenden Öffnung stets 12 Fuß = 3,7 m entfernt war.

[2]) So hat er (nicht im verdunkelten Zimmer, sondern im vollen Sonnenlicht) den dunkeln Streifen zwischen Kern- und Halbschatten, sowie den hellen zwischen Halbschatten und beleuchtetem Teil gesehen.

[1]) Miscellaneous works I, 179/81.

[2]) Nach S. 767/8 hatte FRESNEL seine ersten Untersuchungen schon der Akademie bekanntgemacht, aber noch nicht veröffentlicht.

NEWTONschen dadurch, daß die Streifen mit weiterer Entfernung von der Mitte an Intensität abnehmen.

Indem die Verfasser nun das Mattglas ganz nahe an den Spalt bringen und dann allmählich entfernen, sehen sie im Innern des hellen Feldes von einer gewissen Entfernung ab eine Menge heller und dunkler Streifen. Bei weiterem Abstande verbreitern sich diese Streifen und ihre Zahl nimmt ab; dabei ist die Mitte bald hell, bald dunkel. Bei größerem Abstande bleibt das ganze mittlere Feld hell, und es erscheinen (nicht ganz klar wann) die äußeren Streifen, die bei der „vollständigen" Erscheinung beobachtet sind. Die Verfasser stellen fest, daß dieser Verlauf von der Weite des Spaltes abhängt, indem die helle Mitte bei engem Spalte früher erscheint. Ein Rückschritt gegen NEWTON ist darin zu erkennen, daß BIOT und POUILLET die Erscheinung so darstellen, als verbreite sich einfach eine Reihe heller und dunkler Fächer geradlinig von der Öffnung aus.

BIOT und POUILLET haben noch eine Anzahl Versuche teils selbständig unternommen, teils solche ihrer Vorgänger vervollständigt, so namentlich die beim Zurückwurf des Lichtes an schmalen Metallstreifen oder gerillten Metallflächen (768 bis 773) entstehende Beugung beobachtet, wobei sie (mindestens teilweise) ohne Auffangschirm beobachteten. Beim HOOKEschen Schneidenversuch sahen sie (766) die Streifen im hellen Raum und ihr Fehlen im dunkeln, machten aber nicht auf die dort auftretende Erhellung aufmerksam. Endlich haben sie die Beugungserscheinungen beobachtet, wenn nicht durchsichtige und undurchsichtige Körper aneinander stoßen, sondern nur Körper, bei denen Durchlässigkeit oder Brechungsvermögen verschieden sind (754).

BIOT und POUILLET werden von FRAUNHOFER ausdrücklich als Vorläufer erwähnt, außerdem macht er noch auf einen Aufsatz des jüngeren TOBIAS MAYER[1]) in den Schriften der Göttinger Akademie 1816/18 aufmerksam. TOBIAS MAYER hat in geschickter Weise die Versuche und manche Beobachtungen seiner Vorgänger wiederholt; unabhängig von FRESNEL und etwa gleichzeitig mit ihm ist er auf den Gedanken gekommen, die Erscheinungen, ohne sie aufzufangen, mit der Lupe zu beobachten[2]).

Bevor die Leistungen FRESNELS besprochen werden können, muß mit einigen Worten auf den damaligen Stand der Theorie des Lichtes eingegangen werden: Es mag nicht jedem bekannt sein, daß die Undulationstheorie, unmittelbar bevor FRESNEL sie zum Siege führte, als gänzlich widerlegt galt. TOBIAS MAYER schreibt im Eingange seines Aufsatzes, daß von ihr in Fachkreisen kaum mehr gesprochen werde. Zur Erklärung mag angeführt werden: Brechung und Spiegelung lassen sich nach der Emanations- und Undulationstheorie darstellen, bei der ersten war die Entscheidung, durch die Messung der Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser, noch nicht gefallen. Die Doppelbrechung hatte HUYGENS freilich besser aufklären können als NEWTON, dafür war die Polarisation, die durch die Entdeckungen von E. L. MALUS in den Vordergrund getreten war, für die Undulationstheorie so lange unerklärlich, als man nicht transversale Schwingungen annahm, wozu auch FRESNEL erst in den zwanziger Jahren kam. Für die NEWTONschen Farben hatte NEWTON eine wenn auch gezwungene Erklärung; bevor TH. YOUNG das Interferenzprinzip einführte, hatten die Gegner nichts entgegenzusetzen. Ähnlich war es mit der Beugung, wo NEWTON eine allerdings wenig befriedigende Erklärung gegeben und wo YOUNGS erst langsam bekannt werdende Darstellung nicht viel mehr leistete. Die Geradlinigkeit der Lichtstrahlen glaubte man nur durch die Emanationstheorie erklären zu können, da die Analogie mit den Schallwellen der Wellentheorie entgegenstand, die Aufklärung, durch die Beugung einerseits, die geringe Länge der Lichtwellen andererseits, war noch nicht ausreichend gegeben worden[1]), obgleich YOUNG die letztgenannte Größe ungefähr bestimmt hatte. Endlich glaubte man in den chemischen Wirkungen des Lichtes einen vollgültigen Beweis für das wirkliche Vorhandensein der Lichtteilchen zu haben.

Über A. FRESNELS Leben mag hauptsächlich nach F. ARAGO (**) bemerkt werden: Er wurde am 10. Mai 1788 in Broglie (Normandie) als Sohn eines Baumeisters geboren. Er besuchte in Paris die polytechnische Schule, erhielt (1806?) eine Stelle als Ingenieur für Straßen- und Brückenbau. 1815 trat er für LUDWIG XVIII. ein, wurde von Napoleon abgesetzt und ging nach Paris, sein damaliger Aufenthalt mag die Beziehungen zu ARAGO und andern angeknüpft haben, die ihn Anregung und Unterstützung bei seinen wissenschaftlichen Arbeiten gaben. Nach Ludwigs XVIII. Rückkehr wurde er wieder eingesetzt und hatte später eine höhere Stellung, war außerdem Examinator an der polytechnischen Schule. Seit 1823 war er Mitglied der Akademie. Seit 1824 lungenleidend, starb er am 4. Juli 1827 in Ville d'Avroy bei Paris. Ein moderner Plutarch könnte vielleicht manche Ähnlichkeiten und Unterschiede in seiner Entwicklung und der FRAUNHOFERS aufführen.

FRESNEL hat das ganze Gebiet der Optik behandelt, so weit es theoretisch von Bedeutung schien; seine Untersuchungen über die Beugung

[1]) TOBIAS MAYER, der Sohn des bekannteren Mathematikers, Physikers und Astronomen gleichen Namens, wurde 1752 in Göttingen geboren, war Professor der Mathematik und Physik in Altdorf, Erlangen und Göttingen, dort starb er 1830.

[2]) Gelegentlich hatten ja auch BIOT und POUILLET, namentlich in unmittelbarer Nähe der Öffnung, die Lupe verwandt.

[1]) Die entsprechenden Erscheinungen beim Schall (Schallschatten und Schallbeugung) hat erst Lord RAYLEIGH genauer untersucht, s. A. WINKELMANN (S. 575/80).

und Interferenz sind die ersten, die er veröffentlicht hat. Die erste Abhandlung (*) hat er 1815 verfaßt, 1816 ist sie erschienen. 1818 schrieb er in Beantwortung einer Preisfrage der Akademie seine Hauptarbeit über Beugung (**), die größtenteils 1819 in den Ann. de phys. et de chim., vollständig 1826 in der Sammlung der Akademie „für 1821 und 1822" erschien. 1822 schrieb er für die französische Übersetzung von THOMSONS Chemie einen Anhang „sur la lumière" (***), der seine Entdeckungen auf verschiedenen Gebieten enthielt. Die beiden letztgenannten Aufsätze hat POGGENDORFF in deutscher Übersetzung mitgeteilt. Mehrere andere Arbeiten, sowie Briefe an ARAGO, die über die Entwicklung von FRESNELS Anschauungen Auskunft geben, sind erst bei der Gesamtausgabe seiner Werke 1866 (Band II, 1868) veröffentlicht worden. Im folgenden soll im großen und ganzen der Darstellung seiner Hauptarbeit nachgegangen werden.

FRESNELS Beobachtungen unterscheiden sich von den früheren zunächst durch die Lichtquelle. Er vereinigte das durch die enge Öffnung gegangene Licht durch eine starke Sammellinse in einem Punkte, und gab dann dem Abstande dieses Punktes vom beugenden Körper verschiedene, nicht immer sehr beträchtliche Größen. Indem er anfangs das Mattglas wie BIOT anwandte und die Lupe darauf richtete, sah er bald, daß die Beugungsstreifen auch ohne besondere Auffangvorrichtung zu sehen waren und ließ diese daher fort, beobachtete mit der Lupe und einem besondern Mikrometer. Einfarbiges Licht stellte er nicht mit Hilfe des Prismas her, sondern verwandte ein dunkelrotes Glas als Filter; das durchgelassene Licht mochte immerhin nur einen kleinen Wellenlängenbezirk umfassen.

Betrachtet man zunächst den Fall des schattenwerfenden Körpers (etwa eines Haares), so könnte man die Fransen nach der Emanationslehre nur durch eine periodisch nach der Entfernung wechselnde Abstoßungskraft erklären. Es sei nun (Fig. 1) der Abstand der Lichtquelle vom Körper $LS = a$, der des Mikrometers vom Körper $ST = b$, $AA' = d$ sei der Abstand eines Streifens an seinem Ursprung vom Körperrande, r die Tangente des Beugungswinkels, so gäbe die geradlinige Fortsetzung des Lichtes für die Fortpflanzung eines solchen Streifens das Gesetz

$$(1) \qquad x = b\,r + \frac{d\,(a+b)}{a}\,,$$

wo $CP = x$ der Abstand des Beugungsstreifens vom Rande des geometrischen Schattens ist. FRESNEL mißt den Abstand des vierten dunkeln Streifens für verschiedene Werte von a und b und findet, daß die Gleichung (1) in keiner Weise erfüllt ist.

FRESNEL kommt also zu dem Ergebnis, daß die Fransen nicht durch geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, sondern durch gegenseitige Vernichtung und Verstärkung der Lichtstrahlen zustande komme und erwähnt seinen bekannten Spiegelversuch. In seiner ersten Arbeit vertrat er eine Anschauung, die mit der YOUNGS übereinstimmte, wie ihm indessen erst ARAGO später mitteilte. Danach sollten die äußeren Fransen (im hellen Teile) durch Interferenz geradlinig durchgehenden Lichtes mit dem am Rande des Körpers zurückgeworfenen, die innern (im Schatten) durch Interferenz der an beiden Rändern zurückgeworfenen Strahlen entstehen. Nun ist der gerade Weg von der Lichtquelle zu einem Punkte des Mikrometers gegeben durch Fig. 2:

$$LP^2 = LT^2 + TP^2 = (a+b)^2 + \left\{\left(\frac{a+b}{a}\right)c + x\right\}^2,$$

wo c die halbe Breite der Öffnung, x der Abstand CP des betrachteten Punktes vom Rande des geometrischen Schattens ist. Für den Weg des Strahles, der an einem Rande a zurückgeworfen wird, hat man:

$$LA + AP\,, \quad \text{und} \quad LA^2 = LS^2 + SA^2 = a^2 + c^2\,,$$

$$AP^2 = AM^2 + MP^2 = b^2 + \left(\frac{b}{a}c + x\right)^2.$$

Man kann nun LP, LA, AP nach dem sog. binomischen Lehrsatz entwickeln; da c und x klein sein werden, kann man Glieder, die mehr als die erste Potenz vor c/a usf. enthalten, weglassen und hat dann für den Unterschied der Lichtwege:

$$\Delta = LA + AP - LP = \frac{a\,x^2}{2\,b\,(a+b)}$$

oder $$x = \sqrt{\frac{2\,\Delta\,b\,(a+b)}{a}}\,.$$

Soll nun x einen dunkeln Streifen bezeichnen, so muß $\Delta = \lambda/2$, $\frac{3\lambda}{2}$ usf. sein, für einen hellen Streifen $\Delta = 0$, λ usf. $\Delta = 0$, der Rand des Schattens ist aber dunkel; um Theorie und Beobachtung in Einklang zu bringen, muß man bei der Zurückwerfung eine Verzögerung von einer halben Schwingung annehmen, also setzen:

$$(2) \qquad x = \sqrt{\frac{(2\,\Delta + \lambda)\,b\,(a+b)}{a}}\,,$$

wo nun für dunkle Streifen $\Delta = \lambda/2$ usf. zu setzen wäre. Die Abhängigkeit von a und b, wie auch das Fortschreiten der dunkeln Streifen $x_1 : x_2 : x_3 = \sqrt{1} : \sqrt{3} : \sqrt{5}$ stimmt mit den Beobachtungen, nicht aber die absolute Größe der Streifen, wie feinere Messungen zeigen. Für die innern Streifen gibt die YOUNGSche Theorie

$$(3) \qquad \Delta = c\,x/b \quad \text{oder} \quad x = \Delta\,b/c\,,$$

woraus ebenfalls Orte der dunkeln und hellen Zonen folgen, die nahezu, aber nicht genau stimmen.

Als Haupteinwand gegen die YOUNGSche Lehre sieht FRESNEL aber Abänderungen des Spaltversuches an, die ihm zu lehren scheinen, daß die Beugungserscheinungen von der Gestalt der Schneiden ganz unabhängig seien.

FRESNEL bespricht nun die Theorie der Undulationen, die durch die Gleichung

(4) $$u = a \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

bestimmt werden, wo a in weiter Entfernung vom leuchtenden Punkte als fest angenommen werden kann. Dann behandelt er das Zusammenwirken mehrerer gleichlaufender Wellenzüge, ihre gegenseitige Vernichtung, wenn der Gangunterschied eine halbe Wellenlänge ist und die allgemeine Regel für ihre Zusammensetzung.

Den Interferenzgrundsatz, den FRESNEL auch durch seinen Spiegelversuch geprüft hat, verbindet er nun mit dem HUYGENSischen Prinzip, nach dem bei Fortpflanzung eines Wellenzuges jeder Punkt als Mittelpunkt gelten kann. Dies führt dann dahin, daß für jeden Punkt des Raumes alle Wellenzüge zusammenzusetzen sind, die von den Punkten einer Wellenfläche herkommen. Wo keine Hindernisse vorhanden sind, vernichten sich freilich alle Wellen mit Ausnahme derer, die eine geradlinige Fortpflanzung vom Lichtpunkte aus erscheinen lassen. Die FRESNELsche Auffassung wurde inzwischen verbessert, in ihrem Grundgedanken blieb sie erhalten.

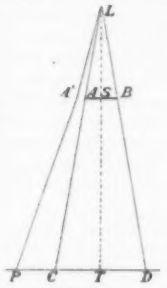


Fig. 1.

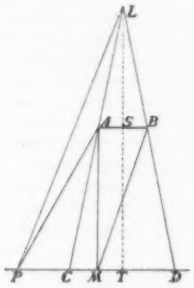


Fig. 2.

Hat man nun etwa (Fig. 3) einen dünnen schattengebenden Körper AB, und ist P ein Punkt des Auffangschirmes CD, so wirken dort die von den verschiedenen Punkten einer Kugelwelle, A, s, m, m', m'' ....; B, t, n, n', n'' .... ausgehenden Erregungen zusammen. FRESNEL führt aus, daß man den gezeichneten ebenen Durchschnitt als Vertreter des räumlichen Vorganges ansehen könne und daß außerdem nur die in der Nähe der Achse liegenden Punkte in Frage kämen. Teile man nämlich die Kugelwelle so ein, daß die Wege $m\,P$, $m'\,P$, $m''\,P$ sich je um eine halbe Wellenlänge unterschieden, so seien die Stücke $m\,m'$, $m'\,m''$ in einiger Entfernung von A einander nahezu gleich. Die Erregungen seien nicht etwa grundsätzlich unabhängig von der Richtung anzusetzen, aber für den geringen Richtungsunterschied von $m\,P$, $m'\,P$, $m''\,P$ könne man sie als gleich, ebenso auch als in gleicher Richtung verlaufend annehmen. Da nun jedem Punkte von $m\,m'$ ein Punkt von $m'\,m''$ entspreche, der eine halbe Wellenlänge weiter von P entfernt sei, könne man annehmen, daß die beiden Strecken einander in ihrer Wirkung vernichteten. Genauer sei es, $m\,m'$ nicht zu $m'\,m''$, sondern zu beiden anstoßenden Bögen $m'\,m''$ und $m\,A$ in Beziehung zu setzen, so daß man seine Wirkung durch die Summe der Hälfte beider Wirkungen vernichtet sein lasse, dies Verfahren könne man bis nach A fortsetzen. Es bleibe so die halbe Wirkung der Bögen Am und Bn übrig, die man in den Punkten s und t vereinigt denken könne, danach entstehe die Lichtwirkung in P durch Zusammenwirken von $s\,P$ und $t\,P$, nicht von AP und BP, wie es die YOUNGsche Anschauung verlangte. Dadurch wird begreiflich, daß diese ein nahezu, aber nicht genau richtiges Ergebnis lieferte, und die Art der Abweichung wird erklärt. FRESNEL zeigt nun, daß für eine enge Öffnung seine Darstellung richtigere Folgerungen gibt als die YOUNGsche, kommt jedoch zum Ergebnis, daß zur genauen Durchführung der Theorie Integrale nötig sind.

Vor deren Einführung behandelt er aber noch einen wichtigen Sonderfall. In der Öffnung AB (Fig. 4) sei eine Linse, die in der Mikrometerebene in T ein Bild der Lichtquelle L erzeugt.

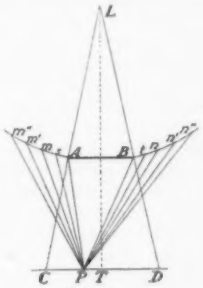


Fig. 3.

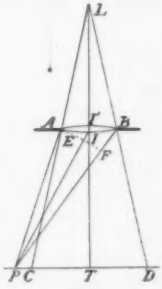


Fig. 4.

Welche Erscheinung wird in einem seitlichen Punkte P auftreten? Durch die Linse hat die auf T treffende Welle in A die Gestalt eines um T mit TA beschriebenen Bogens $AI'B$. Beschreibt man um P mit PA einen Bogen AEF, so sind die Abstände $I'E$, BF die Unterschiede der Wellenlängen, dabei entsprechen gleichen Bögen von AB gleiche Unterschiede. Ist die Strecke BF gleich einer geraden Zahl $2n$ von halben Wellenlängen, so kann man AB in $2n$ Teile zerlegen, von denen zwei benachbarte einander aufheben, ist sie eine ungerade Anzahl $(2n+1)$ von halben Wellenlängen, so bleibt bei der entsprechenden Einteilung $1/(2n+1)$ des Bogens übrig. Die erstgenannten Stellen geben die Minima, die andern die nach außen beständig schwächer werdenden Maxima; da aber die Mitte hell ist, so sind die beiden innersten Maxima doppelt so weit voneinander entfernt als die weiteren. Durch BF ist P bestimmt.

FRESNEL bestätigt dies Ergebnis durch einen Versuch; er benutzt, da seine Öffnung ein Spalt ist, eine Zylinderlinse. Er verwendet ihn aber auch zu einer Wellenlängenbestimmung, bei der

er für die (durchschnittliche) Wellenlänge des durch sein rotes Glas gelassenen Lichte Werte zwischen 0,000 635 und 0,000 640 mm erhält; daß seine Messungen nicht so miteinander stimmen konnten, wie die bald zu erwähnenden FRAUNHOFERschen, ist erklärlich. Sein Spiegelversuch ergab fast denselben Wert. Da man die Wellenlänge auch aus den NEWTONschen Farben bestimmen konnte, so war schon ein dreifaches Verfahren bekannt.

Da wir als FRAUNHOFERsche Erscheinung eine solche bezeichnen, bei der am Orte der Lichtquelle oder an dem eines optischen Bildes der Lichtquelle beobachtet wird, so hat hier auch FRESNEL gelegentlich eine solche benutzt.

Nachdem er den Einfluß der Weite der Öffnung besprochen hat, geht er nunmehr zur allgemeinen Berechnung über, und zwar behandelt er zunächst den HOOKEschen Schneidenversuch.

Es sei L die Lichtquelle, AB der Schirm, A die Schneide, B sei soweit entfernt, daß es nicht in Frage kommt. Die Lichtwirkung in einem Punkte P der Auffangebene (Schirm, Mikrometer) muß durch Zusammenwirken der

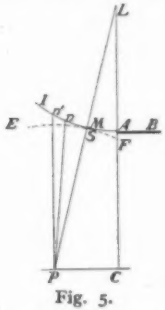


Fig. 5.

Teile der Kugelwelle AMI entstehen. LMP sei eine Gerade, beschreibt man um P den Bogen ESP, so ist für jedes Teilchen n der Abstand ns auf der Geraden nP maßgebend. Für diesen Abstand hat man aber $\frac{1}{2}\frac{z^2(a+b)}{ab}$, wo $z = An$ ist. In Wellenlängen ist also die Wirkung eines Bogens dz um $z\frac{2(a+b)}{2ab\lambda}$ hinter der des Punktes M zurück. Man muß die gesamten Wirkungen des Bogens AI zueinander addieren oder vielmehr, da es sich um unendlich viele unendlich kleine Teile handelt, über den Bogen integrieren. FRESNEL zeigt, daß die Lichtstärke für jeden Punkt P durch zwei Integrale zu bestimmen ist, die er numerisch auswertet.

Dies gibt ihm die Möglichkeit, die Helligkeit für jeden Punkt der Auffangebene zu bestimmen und damit die Maxima und Minima festzulegen. Die Formel für die Minima läßt sich wie folgt schreiben

$$x = m\sqrt{\frac{1}{2}\frac{(a+b)b\lambda}{a}} \tag{6}$$

Hierbei ist m ein numerischer Wert, der für jedes Minimum aus FRESNELS Tafeln folgt. Bezeichnet man die Minima mit 1, 2 . . ., so ist

$$m_1 = 1{,}873\,,\quad m_2 = 2{,}739\,,\quad m_3 = 3{,}391\,. \tag{6a}$$

Wirft man einen Rückblick auf die YOUNGsche Theorie, so sieht man, daß bei ihr die Formel (2) auch für den Schneidenversuch gelten müßte. Setzt man nun $\Delta = \lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ usf., so käme man auch zur Formel (6), nur wäre

$$m_1 = 2\,,\quad m_2 = 2\sqrt{2} = 2{,}828\,,\quad m_3 = 2\sqrt{3} = 3{,}464\,\ldots \tag{6b}$$

Genaue Messungen gaben FRESNEL die Möglichkeit, zwischen beiden Anschauungen zu entscheiden; sie fielen für seine Theorie aus. Die Messungen stimmten bis auf 1 oder 2 Hundertstel Millimeter überein. Weiter gab die Theorie das Ergebnis, daß beim Schneidenversuch im geometrischen Schatten eine Aufhellung, dagegen keine Maxima und Minima vorkommen können, was zu den Beobachtungen von HOOKE und NEWTON stimmte.

FRESNEL ging nun zum dünnen schattengebenden Körper und zum Spalte über, seine beiden Integrale geben auch hier die Werte der Helligkeit, und alle Beobachtungen wurden in ganz feinen Einzelheiten dargestellt. Da aber der Leser jetzt einen Begriff von der berühmten Abhandlung bekommen haben dürfte, und ein weiteres Eindringen mathematische Auseinandersetzungen nötig machte, scheint es an der Zeit abzubrechen. Nur ein Umstand, der damals Aufsehen erregte, mag noch erwähnt werden.

Dem Ausschusse der Akademie, der FRESNELS Preisarbeit prüfte, gehörte auch S. D. POISSON an. Es zog aus den Formeln eine merkwürdige Folgerung: Setze man einen schattengebenden Körper von kleinem, kreisförmigem Querschnitt einem engen senkrecht auffallenden Bündel von Lichtstrahlen aus, so müsse die Mitte des geometrischen Schattens, wo dieser auch aufgefangen wurde, ebenso hell sein, als wäre gar kein Hindernis vorhanden. Sofort angestellte Versuche bestätigten dies Ergebnis und lieferten daher statt der von POISSON vielleicht erwarteten Widerlegung eine glänzende Bestätigung. Man hat aber nicht bemerkt, daß MARALDI den Versuch schon fast 100 Jahre vorher gemacht hatte[1]). In einem Anhang zu seinem Aufsatz leitete FRESNEL den POISSONschen Satz noch in einfacherer Weise ab und führte ferner aus, daß bei enger kreisförmiger Öffnung die Helligkeit der Mitte sich mit der Entfernung des Auffangschirmes ändern müsse.

Von FRAUNHOFER kommen drei Arbeiten in Frage, ein Aufsatz in den Denkschriften der Münchener Akademie (14. Juli 1821), eine kurze Bemerkung in den Astronomischen Nachrichten (22. Juli 1822) und eine Arbeit, die ebenfalls in

[1]) PRIESTLEY, S. 387/8.

der Münchener Akademie vorgetragen (14. Juni 1823), aber in GILBERTS Annalen veröffentlicht wurde.

In der Einleitung zum ersten Aufsatze bezieht sich FRAUNHOFER auf BIOT und TOBIAS MAYER, bemerkt, daß beim Auffangen der Erscheinung keine große Genauigkeit zu erwarten sei und beschreibt sodann sein Beobachtungsverfahren.

„Um alles durch eine schmale Oeffnung ge„beugte Licht in das Auge zu bekommen, und „die Erscheinungen stark vergrössert zu sehen, „noch mehr aber, um die Winkel der Ablenkung „des Lichtes unmittelbar messen zu können, „stellte ich einen Schirm, der eine schmale vertikale „Oeffnung enthielt, die durch eine Schraube breiter „oder schmäler gemacht werden konnte, vor das „Objectiv eines Theodolith-Fernrohrs. Ich ließ „mit einem Heliostat in einem finstern Zimmer, „durch eine schmale Oeffnung, Sonnenlicht auf „den Schirm fallen, durch dessen Oeffnung es „folglich gebeugt wurde. Durch das Fernrohr „konnte ich alsdann die Erscheinungen, welche „die Beugung des Lichtes hervorbringt, vergrössert, „und doch mit hinlänglicher Helligkeit beobachten, „zugleich aber auch die Winkel der Ablenkung „des Lichtes mit dem Theodolith messen." —

„Das Instrument, mit welchem ich beobachtet „und die Winkel gemessen habe, ist im Wesentlichen „ein 12zölliges repetirendes Theodolith, welches „mittels der Verniers auf 4″ teilt. In der Mitte „des Kreises ist, oberhalb demselben, eine ebene „horizontale Scheibe von 6 Zoll [162 mm] Durch„messer, die sich um ihre eigene Axe dreht, „und deren Mittelpunkt genau in der Axe des „Theodolith liegt. Sie hat ihre eigne Theilung „auf 10″. Auf die Mitte dieser Scheibe wird der „Schirm gestellt, durch welchen das Licht ge„beugt wird, der demnach in der Axe des „Theodolith steht, wodurch die Correctionen, die „ohne dieses, wegen der Entfernung des beugenden „Körpers von der Axe, an den gemessenen Win„keln gemacht werden müssten, wegfallen. Die Ein„theilung der Scheibe muss dazu dienen, nöthigen„falls den Winkel des einfallenden Lichtes u. s. w. „messen zu können. Ausserhalb der Scheibe, in „der Entfernung von $3^1/_2$ Zoll [90 mm] von der „Mitte, fängt erst das Fernrohr an, dessen Ob„jectiv 20 Linien [45 mm] Oeffnung und 16,9 Zoll „[456 mm] Brennweite hat; es ist mit der Alhidade „des 12zölligen [= 325 mm] Kreises verbunden, „und gehörig balancirt. Die Axe des Fern„rohres ist mit der Ebene des Kreises parallel, „und genau horizontal. Ich bediente mich einer „30 auch 50maligen Vergrösserung. Das ganze „Instrument ist vom Boden isolirt. In der Ver„längerung der optischen Axe $463^1/_2$ Zoll „[12,55 m] von der Mitte des Theodolith entfernt, „ist das Heliostat, dessen Stunden-Bewegung „mittelst einer Schraube und eines daran befind„lichen, bis zum Standpunkte des Theodolith „reichenden Gestänges gemacht wird, um das „Sonnenlicht willkührlich zu verstärken oder zu „schwächen. Die Oeffnung am Heliostat ist verti„kal, 2 Zoll [54 mm] lang, und kann breiter oder „schmäler gemacht werden. Ich hatte sie ge„wöhnlich 0,01 bis 0,02 Zoll [0,27 bis 0,54 mm] „breit."

Die Breite der Öffnung am Schirm maß FRAUNHOFER zu jedem Versuche mit einem besonders hergerichteten Mikroskop aus, die Genauigkeit der Messung gibt er auf 0,00001 = 0,00002Zoll = 0,00027 = 0,00054 mm an.

Über die grundsätzliche Auffassung FRAUNHOFERS sei noch eine Stelle aus einer Anmerkung zur letzten Arbeit angeführt (119/20). FRAUNHOFER verweist darauf, daß ein prismatisches Spektrum nicht rein sei, wenn es auf einem Schirm aufgefangen werde, weil sich infolge der Breite des Prismas die Farben teilweise überdecken müßten und fährt dann fort: „Fallen dagegen die weissen „Strahlen unter einem gewissen Neigungswinkel, „und zwar allesammt unter demselben, auf ein „Prisma, so müssen die äussersten rothen, nach der „Brechung, nach der ganzen Breite des Prismas „ebenfalls alle unter ein und demselben Winkel „ausfahren; und dasselbe muss mit jeder der fol„genden Arten farbiger Strahlen der Fall seyn. „Nun aber hat ein vollkommenes Objektiv die „Eigenschaft, alle unter sich parallele unter irgend „einem Winkel auffallende Strahlen in einem „Punkt im Focalabstande zu vereinigen; es muss „daher ein solches prismatisches Spectrum in einem „vollkommenen Fernrohr aus *vollkommen homo„genen* Farben bestehen, vorausgesetzt, dass die „weissen Strahlen von einem Gegenstand kommen, „dessen scheinbarer Durchmesser *sehr* klein ist. — „Das Gesagte gilt nicht blos bei den Phänomenen „durch Brechung, sondern auch bei denen durch „Beugung und gegenseitige Einwirkung gebeugter „Strahlen auf einander, und ist die Ursach, „wesswegen man, wenn man das durch ein Gitter „modificirte Licht mit einer weissen Fläche auf„fängt, nichts von den Phänomenen sieht, welche „mittelst eines Fernrohrs darin beobachtet werden „[den dunkeln Linien]. Daß eine Loupe nicht die „Dienste eines Fernrohrs versehen kann, sieht man „leicht ein." Es folgt noch eine Bemerkung, daß man auf einer weißen Fläche ein reines Spektrum auffangen könne, wenn man ein Objektiv zwischen Prisma und Auffangschirm stelle, so daß dieser in der Brennebene des Objektivs stehe.

Ohne die Bedenken zu erörtern, die etwa der Vergleich zwischen prismatischem und Beugungsspektrum erregen mag, sei er noch weiter dahin ausgeführt, daß es für beide Fälle noch eine zweite ausgezeichnete Möglichkeit gibt, wenn nämlich mit einem Instrument nicht auf die Lichtquelle, sondern auf das Prisma oder die beugende Fläche eingestellt wird. Man hat hier beim Prisma weißes Licht (siehe NEWTON, Optik, I. Buch, 75/6, 2. Versuch), bei der Beugung die farbenfreie Darstellung der Fläche (ABBEsche Theorie der mikroskopischen Abbildung). Man könnte also so vergleichen:

Reines Spektrum — FRAUNHOFERsche Beugungserscheinung
Unreines Spektrum — FRESNELsche Beugungserscheinung
Weißes Licht — Abbildung der beugenden Fläche.

Das Verhältnis von FRAUNHOFER und FRESNEL zu BIOT kann man so ausdrücken, daß FRAUNHOFER die Absicht BIOTS, die „vollständige" Erscheinung zu beobachten, wirklich durchgeführt hat. Bei ferner Lichtquelle nähert sich die Erscheinung auf dem Schirme, wenn man diesen weiter und weiter entfernt, mehr und mehr dem FRAUNHOFERschen Falle. Die schon erwähnten gelegentlichen subjektiven Beobachtungen mit bloßem Auge konnten die Erscheinungen nicht, wie es FRAUNHOFER tat, der Messung zugänglich machen. Dagegen war FRESNELS Bestreben in BIOTS Sinne darauf gerichtet, die „unvollständige Erscheinung in ihrem Werden" zu beobachten; hierin besteht der Unterschied der FRAUNHOFERschen und FRESNELschen Beugungserscheinungen vom BIOTschen Standpunkte aus. Logisch dürfte freilich eine Unterscheidung zwischen „vollständigen" und „unvollständigen" Erscheinungen nicht zulässig sein, die FRAUNHOFERschen Erscheinungen sind ein Grenzfall der FRESNELschen[2]).

In dem aber, was FRAUNHOFER beobachtet und gemessen hat, ist er weit über seine Vorgänger hinausgekommen. Es sei zunächst der Inhalt der ersten Abhandlung kurz dargestellt.

1. Beugungserscheinungen durch eine einzelne Öffnung. FRAUNHOFER sah eine große Anzahl Spektren auf beiden Seiten der Mitte, die roten Enden nach außen, er maß die Winkelabstände, und zwar für die roten Enden, bei den ersten vier Spektren oder einem Teile von ihnen. Die Breite des beugenden Spaltes betrug bei den im ganzen 14 Messungen 0,11545 Zoll bis herunter zu 0,00114 Zoll (3,1252 bis 0,0309 mm). Das Ergebnis läßt sich in der Form schreiben:

$$L_n \cdot c/n = \text{const.} \tag{7}$$

Hier ist n die Ordnungszahl eines Spektrums, L_n dessen Ablenkung (oder die seines roten Endes) von der Mitte, c die Breite der Öffnung. FRAUNHOFER hat hier keine Winkel über $1^1/_4{}^\circ$ gemessen und sich bei den engsten Öffnungen auf die beiden ersten oder das erste Spektrum beschränkt. Die Formel enthält die Abhängigkeit von der Breite der Öffnung, worüber BIOT nur Andeutungen gemacht hatte. Mißt man c in Pariser Zoll, L_n hingegen in Bogenmaß (bei den kleinen benutzten Bögen ist dann $L_n = \sin L_n = \operatorname{tg} L_n$), so ist die Konstante 0,0000 211 Zoll = 0,000 571 mm. Nach SCHWERD gibt die Konstante die Wellenlänge der Farbe an, die an der betreffenden Stelle ausgelöscht ist; daß dies am roten Ende tatsächlich für eine gelbe Farbe der Fall ist, zeigt eine weitere Beobachtung FRAUNHOFERS. Um die Reinheit des Spektrums zu untersuchen, befestigte er ein Flintglasprimas von etwa 20° mit wagerechter brechender Kante, diese nach unten, vor dem Okular. Er konnte dann den wagerechten Faden des Okularmikrometers wohl in reinem Spektrum, nicht aber in gemischtem Lichte sehen; und es gelang ihm dies erst vom vierten Spektrum an, und noch sehr undeutlich. Hier sah FRAUNHOFER auch, daß das rote Ende der ersten Spektren blaues Licht enthielt.

Eine besondere Vorrichtung diente dazu, die Erscheinung zu beobachten, wenn die beiden Grenzen des Spaltes dem Fernrohr nicht gleich nahe sind. Es kommt dies darauf hinaus, daß das Licht schief auf den Spalt fällt. FRAUNHOFER stellte die Unsymmetrie fest. Weiter beobachtete er die kreuzförmige Erscheinung, wenn er am Heliostaten eine runde Öffnung hatte und im Spalte eine rechteckige oder quadratische Öffnung. Er gibt eine Zeichnung.

Genaue Beobachtungen finden sich wieder für die Beugung durch eine runde Öffnung. Hier entsteht eine helle Mitte mit farbigen Ringen. FRAUNHOFER gibt für die Breite eines Ringes:

$$L\,c = \text{const.}, \tag{8}$$

wo c der Durchmesser der Öffnung und die Konstante dieselbe sei wie beim Spalte. Dagegen ist der Halbmesser L_1 des ersten Ringes merklich größer als der Abstand des ersten Streifens von der Mitte. SCHWERDS Rechnungen zeigten, daß auch die Ringe noch ein wenig größer sein müssen als die Streifen beim Spalte und sich erst bei weiterer Entfernung von der Mitte der konstanten Grenze nähern, stimmen aber mit den Beobachtungen FRAUNHOFERS sehr gut.

Endlich stellte FRAUNHOFER noch die Erscheinung durch einen schmalen Kreisring fest.

2. Beugungserscheinungen durch eine große Zahl Öffnungen. FRAUNHOFER stellte ein senkrechtes Gitter her, indem er viele gleichdicke Fäden parallel in gleichen Anständen auf einen Rahmen spannte, den gleichen Abstand suchte er dadurch zu erreichen, daß er am oberen und unteren Ende feine Schrauben anbrachte und die Fäden auf die Gänge spannte. Am Heliostaten war die Öffnung wieder ein senkrechter Spalt. FRAUNHOFER, der wohl nur eine Verstärkung der durch einen Spalt beobachteten Erscheinung erwartet hatte, war nicht wenig erstaunt, statt dessen eine große Zahl neuer Spektren zu sehen, in denen er auch die von ihm wenige Jahre vorher beobachteten dunkeln Linien wiederfand. Außerdem stellte er wieder mit Hilfe des Okularprismas fest, daß die Farben der Spektren rein waren, daß aber das rote Ende des zweiten und das violette des dritten Spektrums einander überdeckten, und daß das nämliche bei den folgenden Spektren eintrat. FRAUNHOFER verfertigte Gitter aus verschieden dicken Fäden und mit verschieden großen Zwischen-

[2]) Seit wann die Ausdrücke „FRAUNHOFERsche und FRESNELsche Beugungserscheinungen" üblich sind, kann ich nicht angeben; jedenfalls hat sie F. NEUMANN in seinen Ende der sechziger Jahre gehaltenen Vorlesungen gebraucht.

räumen, einen Teil der Gitter stellte er auch her, indem er Glasplatten mit Goldblättchen belegte und eine Anzahl parallele Gerade hineinritzte. Er fand nun, daß für die neuen Spektren eine regelmäßige Ausführung des Gitters sehr wichtig ist, daß ihre Ausdehnung aber nur von der Summe Zwischenraum + Faden, $c + d$, abhängt. Außerhalb sah er noch Spektren, die durch die einzelnen Zwischenräume zu entstehen schienen.

FRAUNHOFER beobachtete nun die Stellen, wo in den verschiedenen Spektren die dunkeln Linien B bis H zu sehen waren und stellte bei leicht ersichtlicher Bezeichnung das Gesetz fest:

(9) $(c + d) B_n/n = \text{const}_B$, $(c + d) C_n/n = \text{const}_C$ usf.

Die Konstanten sind bekanntlich die Wellenlängen, die Werte, die FRAUNHOFER für die sieben Linien erhält, sind die folgenden:

			Heutige Werte
B	0,0000 2541 Zoll	= 0,000 6878 mm	0,000 6867 mm
C	0,0000 2425 Zoll	= 0,000 6565 mm	0,000 6563 mm
D	0,0000 2175 Zoll	= 0,000 5888 mm	0,000 5893 mm
E	0,0000 1943 Zoll	= 0,000 5260 mm	0,000 5270 mm
F	0,0000 1789 Zoll	= 0,000 4843 mm	0,000 4862 mm
G	0,0000 1585 Zoll	= 0,000 4291 mm	0,000 4308 mm
H	0,0000 1451 Zoll	= 0,000 3928 mm	0,000 3969 mm

Insgesamt hat FRAUNHOFER 10 verschiedene Gitter benutzt; für das gröbste war $c + d =$ 0,025364 Zoll = 0,68660 mm, beim feinsten 0,001952 Zoll = 0,5284 mm, das Verhältnis $c : d$ schwankte etwa zwischen 4 : 1 und 1 : 8. In seiner ersten Arbeit hat FRAUNHOFER noch keinerlei theoretische Überlegungen angestellt und daher die Übereinstimmung der Konstanten mit den Wellenlängen nicht festgestellt, wohl aber hat er bemerkt, daß die Abstände zwischen den Linien im Beugungsspektrum in einem ganz anderen Verhältnisse stehen als im prismatischen Spektrum.

Bei Betrachtung der Spektren fiel es FRAUNHOFER auf, daß einzelne verschwanden oder viel schwächer waren als die benachbarten. Er bemerkte auch, daß dies dann geschah, wenn ein durch eine einzelne Öffnung erregtes Spektrum mit dem roten Ende etwa auf die Stelle des betreffenden Gitterspektrums für E traf. Das rote Ende bedeutet nach dem vorhergehenden eine Auslöschung des hellsten Lichtes; dieser Einfluß der Einzelöffnung ist jetzt bekannt. Sind die Fäden dünner als die Zwischenräume, so ist ihre Breite maßgebend (siehe 4.).

3. Beugungserscheinungen durch eine geringe Zahl Öffnungen. Dafür findet FRAUNHOFER wieder die beiden Arten von Spektren, doch sind hier die durch Zusammenwirken der Öffnungen entstehenden[1]), die Spektren zweiter Klasse, nicht rein und zeige daher auch keine dunkeln Linien. Weiter zeigte sich im Raume zwischen der hellen Mitte und dem ersten Spektrum noch eine dritte Klasse. Bei Zunahme der Zahl Öffnungen wurden diese Spektren dritter Klasse zahlreicher, aber enger und waren endlich nicht voneinander zu unterscheiden.

Die Spektren zweiter Klasse änderten langsam ihren Ort, wurden reiner und bekamen schließlich das unter 2. erwähnte Aussehen.

Die Aufklärung der Erscheinungen gab SCHWERD, indem er für einfarbiges Licht feststellte, daß es 3 Klassen von Maximis gibt, denen bei weißem Licht 3 Klassen von Spektren entsprechen. Freilich sind Maxima dritter Klasse zwischen je 2 solchen zweiter Klasse enthalten, wie SCHWERD auch durch Beobachtung mit einfarbigem Lichte bestätigte; die entsprechenden Spektren sind FRAUNHOFER mit Ausnahme der innersten entgangen.

FRAUNHOFER mißt auch hier die roten Enden der Spektren; SCHWERD kommt zu dem Ergebnis, daß die Messungen mit der Theorie übereinstimmen, wenn man dieses Ende mit dem Minimum für die hellste Farbe zusammenfallend annimmt.

4. Verschiedene Beobachtungen. — FRAUNHOFER stellt fest, daß ein auf die durchsichtige (breite) Öffnung gespannter Faden, abgesehen von der Mitte, dieselben Spektren hervorruft wie ein gleich breiter Spalt.

Den Einfluß des Brechungsverhältnisses sucht er festzustellen, indem er die Gitter in eine Flüssigkeit stellt. Die Winkel der später in Luft ausgetretenen Strahlen müssen dieselben gewesen sein, wie wenn das Gitter in Luft stand.

FRAUNHOFER beobachtete die Beugung durch Gitter auf einer spiegelnden Fläche. Sie sind ebenso wie beim Durchgang, doch muß eine Änderung eintreten, weil notwendigerweise das Licht etwas schief auffallen wird. Die Wirkung eines solchen schiefen Auffalls gibt FRAUNHOFER noch nicht ganz richtig an.

Den Schluß der Abhandlung bilden eine Anzahl Versuche über das Zusammenwirken mehrerer Öffnungen von verschiedener Form und Lage, die FRAUNHOFER durch Figuren deutlich macht.

Nach Vollendung seiner Arbeit lernte FRAUNHOFER die Aufsätze YOUNGS kennen und erfuhr, daß für die aufeinander folgenden Spektren nicht die Winkelunterschiede, sondern die Unterschiede der Sinus der Winkel einen festen Wert haben sollten. In einem Briefe an SCHUMACHER teilt er mit, daß er dies durch ein Gitter mit dem Werte $c + d = e =$ 0,000285 Zoll = 0,00715 mm an den Spektren zweiter Klasse bestätigt habe.

Genaueres über diese Messungen gibt der letzte Aufsatz. Nachdem FRAUNHOFER verschiedene andere Mittel versucht hatte, gelang es ihm mit einer besonderen Maschine, die eine Diamantspitze hatte, Gitter von völlig ausreichender Regelmäßigkeit bis zu

$$e = 0{,}0001223 \text{ Zoll} = 0{,}003310 \text{ mm}$$

herab in eine Glasplatte einzuritzen. Er konnte zwar Gitter bis zu

$$e = 0{,}00003125 \text{ Zoll} = 0{,}0008459 \text{ mm}$$

[1]) FRAUNHOFER spricht in seiner ersten Arbeit von äußeren mittleren und inneren Spektren, in der französischen Übersetzung und im letzten Aufsatze von Spektren erster, zweiter und dritter Klasse.

herstellen, aber nicht so, daß eine genügende Anzahl von Parallellinien in gleichmäßigen Abständen verlief; er hält dies überhaupt für unmöglich, was die Folgezeit nicht bestätigt hat.

Mit dem Gitter von $e = 0{,}003310$ mm erhielten die Linien im ersten Spektrum zweiter Klasse Achsenabstände von 7—11°, im zweiten von 15 bis 23°, so daß klar zu erkennen war, daß man statt 9. setzen mußte:

$$e \sin B_n/n = \text{const.} \tag{9a}$$

usf. Bestätigt wurde die Beobachtung durch ein gröberes Gitter, mit dem auch die Linien im dritten und vierten Spektrum beobachtet werden konnten, was bei dem feineren wegen der geringen Unregelmäßigkeiten nicht ganz sicher gelang.

Weiter beschäftigte FRAUNHOFER sich mit dem schiefen Einfall des Lichtes auf das Gitter und bestätigte auch hier ein theoretisches Gesetz. Er gibt eine Formel an, die er „nach den Prinzipien „der Interferenz entwickelt hat, welche schon im „Jahre 1802 von Dr. THOM. YOUNG aufgestellt „und nachher zuerst von den HH. ARAGO und „FRESNEL der verdienten Aufmerksamkeit ge„würdigt worden sind".

Ich habe nicht feststellen können, wie FRAUNHOFER zu der Gleichung gelangt ist. FRAUNHOFER macht darauf aufmerksam, daß sie eine nicht streng geradlinige Fortpflanzung des Vorganges ergebe. Für den Fall der FRAUNHOFERschen Erscheinung liefert die Formel das richtige Ergebnis:

$$\sin \sigma'_n - \sin \sigma = \pm n\lambda/e\,. \tag{10}$$

Hier ist σ der Einfallswinkel, σ'_n der Winkel des $n$ten Maximums für eine Lichtart, λ die zugehörige Wellenlänge. FRAUNHOFER bestätigt das Gesetz.

Wie man schon aus dieser Darstellung sieht, hat sich FRAUNHOFER jetzt (wenn auch vorsichtig) auf den Standpunkt der Undulationstheorie gestellt. Seine jetzigen Messungen geben aber auch:

	Neue Werte für λ:		Heutige Werte:
C	0,0000 2422 Zoll	= 0,000 6556 mm	0,000 6563 mm
D	0,0000 2175 Zoll	= 0,000 5888 mm	0,000 5893 mm
E	0,0000 1945 Zoll	= 0,000 5265 mm	0,000 5270 mm
F	0,0000 1794 Zoll	= 0,000 4856 mm	0,000 4862 mm
G	0,0000 1587 Zoll	= 0,000 4296 mm	0,000 4308 mm
H	0,0000 1464 Zoll	= 0,000 3963 mm	0,000 3969 mm

Die Messungen sind nach KAYSER (692) 40 Jahre hindurch in ihrer Genauigkeit unerreicht geblieben.

FRAUNHOFER beobachtete auch die von solchen Gittern durch Zurückwerfung entstandenen Spektren und stellte fest, daß hierbei ein Teil eines Spektrums aus vollständig polarisiertem Lichte bestehen kann.

Eine Bemerkung dieses Aufsatzes bezieht sich auf Gitter, wo Öffnungen von verschiedener Breite und Entfernung ($e + d = e_1, e_2, e_3 \ldots$) in regelmäßiger Anordnung aufeinander folgen. Für die Spektren zweiter Klasse ist $e = e_1 + e_2 + e_3 + \ldots$ zu setzen, die Helligkeitsverhältnisse können sehr mannigfaltig sein.

Ich verweise noch kurz auf die bekannte Bemerkung über die Erkennbarkeit von Einzelheiten, die kleiner sind als die Wellenlänge. Im CZAPSKIschen Lehrbuche habe ich (S. 486) die Meinung geäußert, FRAUNHOFER habe die Sichtbarkeit der Teilchen mit der Möglichkeit verwechselt, Gestalt und Größe zu erkennen. Seine Ausdrucksweise ist etwas unklar und schwankend, doch möchte ich jetzt glauben, daß er eine richtigere Vorstellung gehabt hat.

Vergleicht man die Arbeiten FRAUNHOFERS mit denen FRESNELS, so wird dem Leser zunächst die große Unbefangenheit auffallen, mit der der Forscher an seine Aufgabe herangeht, im ersten Aufsatz fehlt jede theoretische Überlegung; um so mehr Bewunderung muß das richtige Gefühl erwecken, mit dem er dazu gelangt, die Versuche immer und immer wieder zu ändern, und so zu ändern, daß neue, wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Es soll zugegeben werden, daß BIOT und TOB. MAYER ihm hie und da Anregungen gegeben haben, aber die Art und Weise, wie er diese Anregungen benutzt hat, war nur einem Manne ganz ungewöhnlicher Art möglich. Bei FRESNEL ist jeder Versuch, den er unternimmt oder veranlaßt, das Ergebnis theoretischer, verstandesgemäßer Überlegung; ohne ihm Unrecht zu tun, kann man behaupten, daß die Versuche FRAUNHOFERS, namentlich die Anwendung der großen Zahl regelmäßig verteilter Öffnungen, eine ganz andere Bedeutung gewonnen haben als die FRESNELS.

Es mag Erstaunen erregen, daß beide Männer so gut wie unabhängig von einander gearbeitet haben. Wenn FRAUNHOFER zunächst nicht von FRESNELS Theorie weiß, so hat FRESNEL auch FRAUNHOFERS Entdeckung der dunkeln Linien nicht benutzt.

Später ist freilich eine gegenseitige Befruchtung eingetreten, FRAUNHOFER ist durch die theoretischen Untersuchungen zu seinen Beobachtungen bei schief einfallendem Lichte veranlaßt worden, und andrerseits sind seine alten und neuen Versuche zu einer glänzenden Bestätigung der FRESNELschen Theorie geworden, als F. M. SCHWERD sie 1835 zur Grundlage seiner mathematischen Darstellung benutzte. Es bleibt freilich dabei, FRESNEL hat die neue Theorie der Beugung und in der Folge der Optik geschaffen — soviel die Folgezeit geändert hat, der Kern ist erhalten geblieben — auf FRAUNHOFER ist es zurückzuführen, wenn die Beugungserscheinungen eine gewaltige Bedeutung für die Praxis, für die Messungen erhalten haben, und hier ist schon auf die für die damalige Zeit ganz unerhörte Genauigkeit seiner Messungen wie auf die Sorgfalt und Mühe bei Ausführung der Gitter hinzuweisen.

Durch das Werk zweier großer Männer ist der Abschnitt über Beugung, der bis dahin ein Anhang, man möchte sagen, ein unbequemes Anhängsel, der Optik war, zu einem ihrer wichtigsten Teile

geworden. Die Bewunderung für ihre Leistungen wird noch größer, wenn man bedenkt, daß es bei beiden nur ein Teil ihrer wissenschaftlichen Arbeiten, bei beiden eine Tätigkeit außerhalb ihres eigentlichen Berufs war, bei FRAUNHOFER ging dies so weit, daß er (S. 139) nur wenige bestimmte Tage im Monat (die Sonn- und Feiertage) zu diesen Versuchen frei hatte; und er konnte sie nur dann vornehmen, wenn an einem dieser Tage die Sonne schien, da die künstlichen Lichtquellen, die wir jetzt haben, noch nicht vorhanden waren. Lag FRAUNHOFER die Optik allgemein vielleicht von vornherein näher als FRESNEL, der noch Ende 1814 nach ARAGOS Zeugnis gesteht, er wisse nicht, was Polarisation sei, so fehlte FRAUNHOFER in seiner Jugendbildung das ganze wissenschaftliche Rüstzeug, das dem andern zu Gebote stand.

Quellenverzeichnis:

(Die Titel sind zum Teil gekürzt, sie stehen dann genauer im CZAPSKISchen Lehrbuch.)

F. ARAGO (*), Sur un phénomène remarquable qui s'observe dans la diffraction de la lumière. Ann. de chim. et de phys. (2) **1**, 199/202. 1816. — (**) Gedächtnisrede auf FRESNEL, 26. Juli 1830. Sämtl. Werke, deutsch herausgegeben von W. G. HANKEL. I. Bd. (Leipzig: O. Wigand 1854) 85/148. — J. B. BIOT, Traité de physique expérimentale et mathematique T. IV. Paris: Deterville 1816, 781 S., 8°, 7 Tafeln. — Jos. FRAUNHOFER (*), Neue Modifikation des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben. Münchn. Denkschr. **8**, 1/76. 1821/2. Ges. Schriften. 53/112, 6 Tafeln. In französischer Übersetzung: SCHUMACHERS astr. Abhandl. Heft 2, S. 46/112. 1823. Ges. Schriften 263/310. — (**) Aus einem Briefe an SCHUMACHER, Astr. Nachr. **1**, 295/6. 1823. Ges. Schriften 113. — (***) Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben. Gilb. Ann. **74**, 337/78. 1823. Ges. Schriften 117/143. — A. FRESNEL (*), Mémoire sur la diffraction de la lumière, où l'on examine particulièrement le phénomène des franges colorées que présentent les ombres des corps éclairés par un point lumineux. Ann. de chim. et de phys. (2) **1**, 239/81. 3 +. 1816. Oeuvr. compl. I, 9/33. (1866). — (**) Mémoire sur la diffraction de la lumière, couronné par l'Académie des sciences (29. VII. 1818). Ann. de chim. et de phys. (2) **11**, 246/96, 337/78. 1819 (ein Teil fehlt). Mém. de l'acad. **5**. 339/475. 1826. Oeuvr. compl. I, 247/382. 14 +, Tafel. In deutscher Übersetzung: Pogg. Ann. **30**, 100/255. 1833. — (***) De la lumière. Anh. zur Übersetzung von THOMSONS Chemie (1822). Oeuvr. compl. II, 3/146. 5 +, Tafel. (1868). In deutscher Übersetzung: Pogg. Ann. **3**, 89/128, 303/28. **5**, 223/56. 1825. **12**, 197/249, 366/99. 1828. — F. M. GRIMALDI, Physico-mathesis de lumine . . . Bononiae 1665. — H. KAYSER, Handbuch der Spektroskopie . . . I. Bd. Leipzig 1900. — TOB. MAYER, Phaenomerum ab inflexione luminis pendentium ex propriis experimentis recensio et comparatio. Comm. Soc. rec. Goett. 1816/18, **4**, 49—80, 12 +. — F. NEUMANN, Vorlesungen über theoretische Optik . . . Leipzig 1885. — Is. NEWTON, Optik; angeführt nach OSTWALD Klass. 96/7. — J. PRIESTLEY (übers. von G. S. KLÜGEL), Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik . . . Leipzig 1776. — F. M. SCHWERD, Die Beugungserscheinungen . . . Mannheim 1835. — A. WINKELMANN, Handbuch der Physik. II. Bd. Akustik. 2. Aufl. Leipzig 1909. — TH. YOUNG, In Frage kommen die Abhandlungen Misc. works I, 140/69; 170/8; 179/91.

Fraunhofer als Mechaniker und Konstrukteur.

Von FR. MEYER, Jena.

Über FRAUNHOFER als Optiker ist schon viel geschrieben und gesprochen worden. Seine fabelhaften, genialen Leistungen auf rein optischem Gebiet werden in allen Abhandlungen, die über ihn und seine Tätigkeit veröffentlicht wurden, nach Gebühr gewürdigt. Nur seine Arbeiten auf rein mechanischem Gebiet wurden bis jetzt leider wenig beachtet, trotzdem er auch hier bahnbrechend gewirkt hat. Er sah sehr bald ein, daß mit der Optik allein nichts zu machen war und daß das schönste Objektiv nur ausgenutzt werden konnte, wenn es durch eine richtige mechanische Einrichtung gefaßt wird. Er empfand sehr bald, daß es bei größeren Durchmessern nicht mehr genügt, die Linsen einfach in gedrehte Fassungen zu legen, wie es bei kleineren Linsen üblich ist. Die Auflageflächen ließen sich mit den damaligen Hilfsmitteln nicht so genau laufend herstellen, daß Verspannungen der Linsen vermieden wurden. Er gab daher zuerst die Dreipunktauflage an, die er dadurch erzielte, daß er zwischen Fassung und Linse und zwischen die Linsen drei dünne, genau gleiche Stanniolplättchen legte, eine Methode, die heute noch allgemein bei Objektiven mittlerer Größe angewendet wird. Ferner fand er bald, daß die ungleiche Ausdehnung des Fassungsmaterials und des Glases bei Temperaturunterschieden schädlich wirkte. Er klebte daher zwischen den Fassungsring und die Linsen unter 120° zwei Stanniolplättchen, brach die Fassung an der gegenüberliegenden Seite aus, legte einen Metallbaggen ein, den er unter einem Federdruck, der das Gewicht der Linsen um ein weniges überstieg, an die Linsen anpreßte, und erreichte dadurch, daß die Linsen in jeder Lage des Objektives nur so wenig verschieden gepreßt wurden, daß sich keine schädlichen Wirkungen mehr zeigten. Diese Methode wird heute noch bei Instrumenten, die absoluten Messungen dienen sollen, wie z. B. Durchgangsinstrumenten, Meridiankreisen, streng angewandt. Bei Refraktoren, die im allgemeinen nur relativen Messungen dienen, faßt man neuerdings die Objektive in einem Material, dessen Ausdehnungskoeffizient dem des Glases näher ist, z. B. Gußeisen oder Siemens-Martin-Stahl, und gibt der Fassung einen solchen Durchmesser, daß

auch bei großer Kälte keine Verspannung der Linsen eintreten kann. Es hat sich herausgestellt, daß bei mittleren Durchmessern, z.B. 200—250 mm, die Schlotterung der Linsen, die bei hohen Temperaturen notwendig eintreten muß, unschädlich ist. Bei größeren Durchmessern schreitet man dagegen auch heute noch zu ähnlichen Hilfsmitteln, wie sie FRAUNHOFER angegeben hat.

Ein weiterer Schritt war die Erkenntnis, daß es nicht genügte, die Linsen des Objektivs gegeneinander in eine richtige Lage zu bringen, sondern daß es auch notwendig ist, das Objektiv im Fernrohr so anzuordnen, daß die optische Achse desselben durch die Mitte des Okulars geht. FRAUNHOFER stattete also die Fassung mit Korrektionsschrauben aus, die es erlaubten, das Objektiv nach allen Richtungen zu kippen, und konstruierte das noch heute unübertroffene Zentrierfernrohr, ein auf drei Schraubenfüßchen stehendes kleines Fernrohr, das so auf das Objektiv gesetzt wird, daß zwei Füßchen an dem Rand der Fassung des Objektivs anliegen. Korrigiert man nun so lange an den Korrektionsschrauben des Objektivs sowohl wie an denen des Zentrierfernrohres, bis die Mitte des Okulars des Fernrohrs sich mit der durch ein Fadenkreuz bezeichneten Mitte des Okulars des Zentrierfernrohrs deckt, einerlei an welche Seite der Fassung des Objektivs das Zentrierfernrohr mit seinen beiden oben bezeichneten Füßchen geschoben wird, so ist das Objektiv zentriert.

Die Montierung des nunmehr einwandfreien Fernrohres war ein Problem, dessen Lösung in damaliger Zeit nicht gerade einfach war. Bei der allgemein üblichen, azimutalen Aufstellung, von der die Fig. 1 ein Beispiel darstellt, war die Beobachtung mit einem Fernrohr, das eine starke Vergrößerung ermöglichte, sehr schwierig und die Ausnutzung des Objektivs unvollkommen. Der Grund hierfür lag vor allem darin, daß man beim Verfolgen eines Sternes das Fernrohr um beide Achsen nachdrehen mußte, und zwar — was besonders schwierig ist — um jede Achse mit anderer Geschwindigkeit. FRAUNHOFER baute darauf in

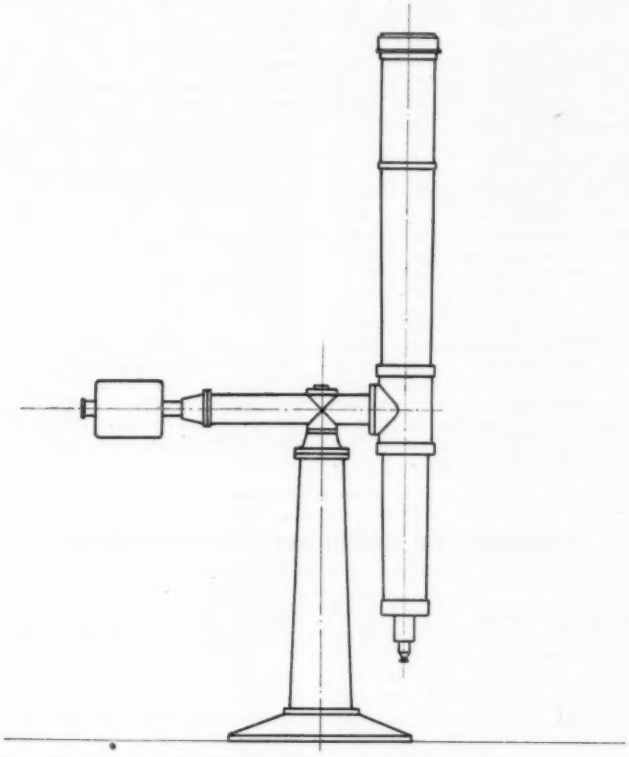


Fig. 1. Azimutal montierter Refraktor.

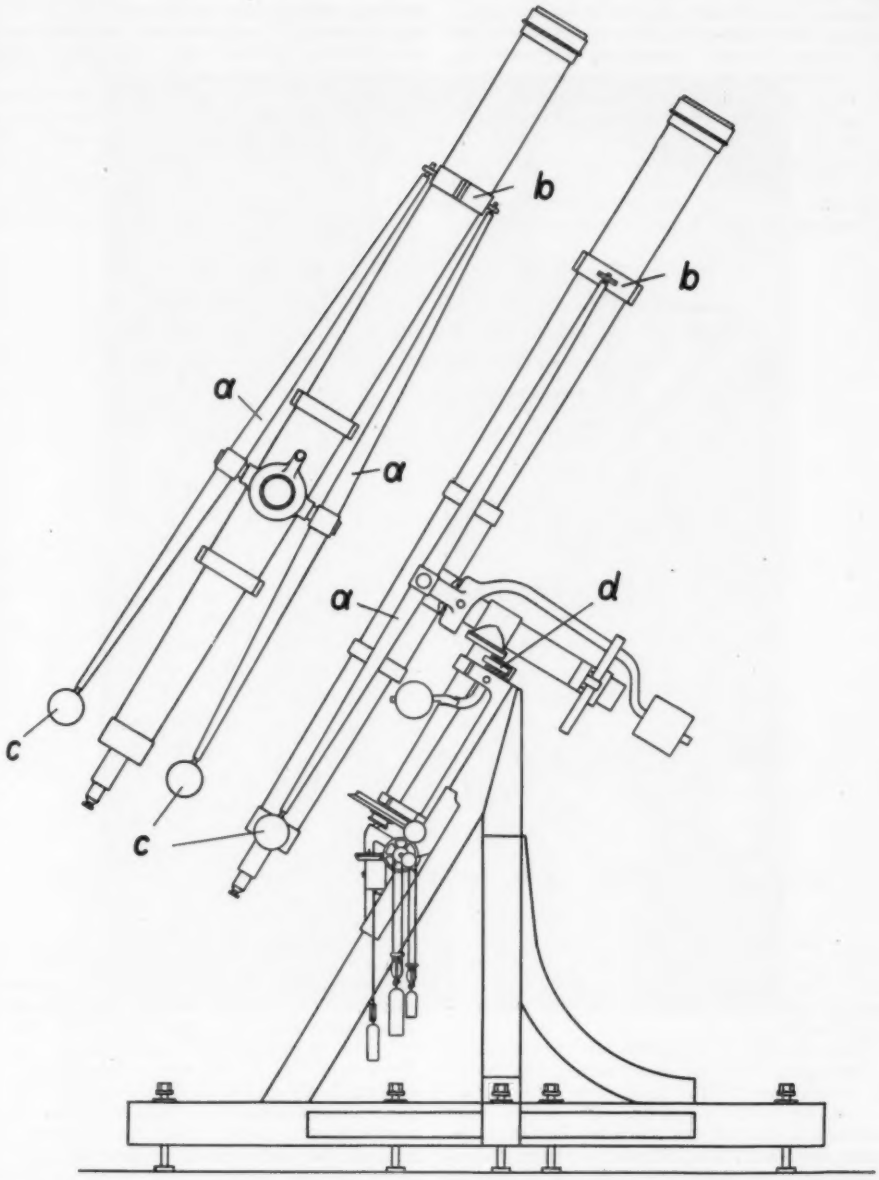


Fig. 2. Parallaktisch montierter Refraktor, gebaut von FRAUNHOFER für die Dorpater Sternwarte, mit 24 cm Objektivöffnung, 4,3 m Brennweite.

Anlehnung an die parallaktisch aufgestellten Äquatoreale von REICHENBACH, LIEBHERR, SCHEINER, OLAF RÖMER, SISSON usw. eine parallaktische Montierung für Refraktoren, die unter dem Namen *Deutsche Aufstellung* allgemein bekannt geworden ist. Diese Aufstellung, veranschaulicht durch die Fig. 2, gestattete die Verfolgung eines Sternes durch Drehung des Instrumentes um nur eine Achse, die Polarachse. Die Gleichförmigkeit der Nachdrehung des Fernrohres ließ naturgemäß immer noch zu wünschen übrig, und es trat bei ihm der Wunsch auf, das Fernrohr durch ein Uhrwerk gleichmäßig zu bewegen. Die bekannten Uhrwerke, durch Ankerhemmungen und Pendel reguliert, ließen sich nicht verwenden, da die durch den Anker erzeugten, ruckweisen Bewegungen die Beobachtungen störten.

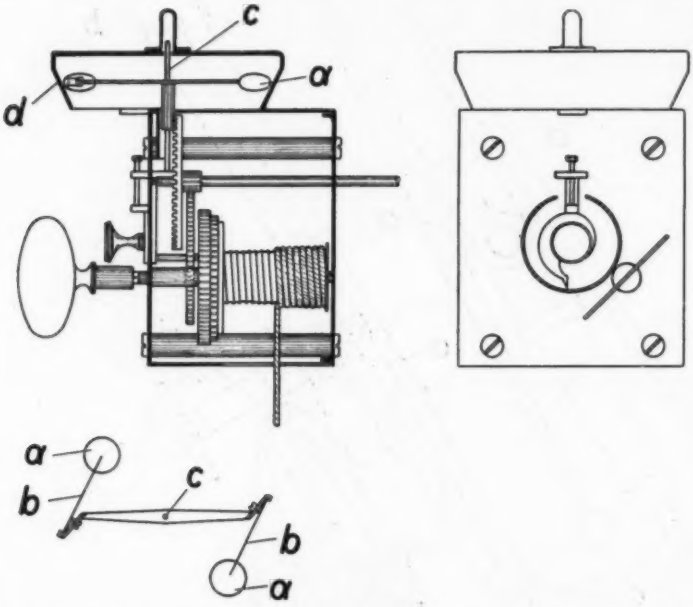


Fig. 3. Zentrifugal-Regulator von FRAUNHOFER für den Refraktor der Dorpater Sternwarte.

Das war für FRAUNHOFER der Anlaß, einen Zentrifugalregulator zu konstruieren, der durch ein Gewicht unter Vermittlung eines Räderwerkes in Drehung versetzt wurde. Die Fig. 3 zeigt schematisch den für den Dorpater Refraktor gebauten Regulator. Die Hemmung erfolgte folgendermaßen: Zwei kleine Gewichte *a* sitzen an federnden Armen *b* einander gegenüber zu beiden Seiten einer vertikalen Achse *c*. Sie schwingen bei der Drehung der Achse *c* aus, und zwar um so weiter, je schneller die Achse sich dreht. Die federnden Arme *b* sind so abgepaßt, daß die Gewichte bei einer bestimmten gewünschten Umdrehungszahl an das im Innern konisch ausgedrehte Gehäuse *d* anstoßen und hier eine Reibung verursachen, wodurch eine schnellere Drehung verhindert wird. Durch Heben und Senken der Achse mit den Gewichten im Innern des konischen Gehäuses werden die Ausschläge derselben verändert und die Umdrehungszahlen genau eingestellt. FRAUNHOFER benutzte diese Einrichtung des Hebens und Senkens der Regulatorachse auch als Feinbewegung in Stunde. Es liegt naturgemäß auf der Hand, daß ein solcher Regulator nur eine geringe Regulierfähigkeit besitzt, da es immer einer gewissen Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit bedarf, um eine Reibungsarbeit zu leisten, die ausreicht, um die unausbleiblichen Verschiedenheiten im Kraftbedarf für den Antrieb des Refraktors auszugleichen. Je mehr der Widerstand des zu treibenden Instrumentes sich ändert, desto größer muß naturgemäß der Ungleichförmigkeitsgrad der Bewegung sein. FRAUNHOFER glaubte dieser Kalamität dadurch zu begegnen, daß er neben den Regulatorantrieb noch einen zweiten Antrieb durch ein konstantes Gewicht einschob, das die allgemeine Reibung des Instrumentes zum größten Teile überwand, so daß der Regulator effektiv nur die veränderlichen Reibungswiderstände auszugleichen hatte. Der

Erfolg, den er damit erzielte, befriedigte die damaligen Ansprüche. Daß diese Ansprüche nicht sehr hoch waren, sieht man am besten aus einer von ihm selbst herrührenden Beschreibung des Zeit noch recht bescheiden in den Ansprüchen an die Gleichförmigkeit des Antriebes eines Refraktors war, und es hat sich daher dieser von FRAUNHOFER angegebene Doppelantrieb noch lange er-

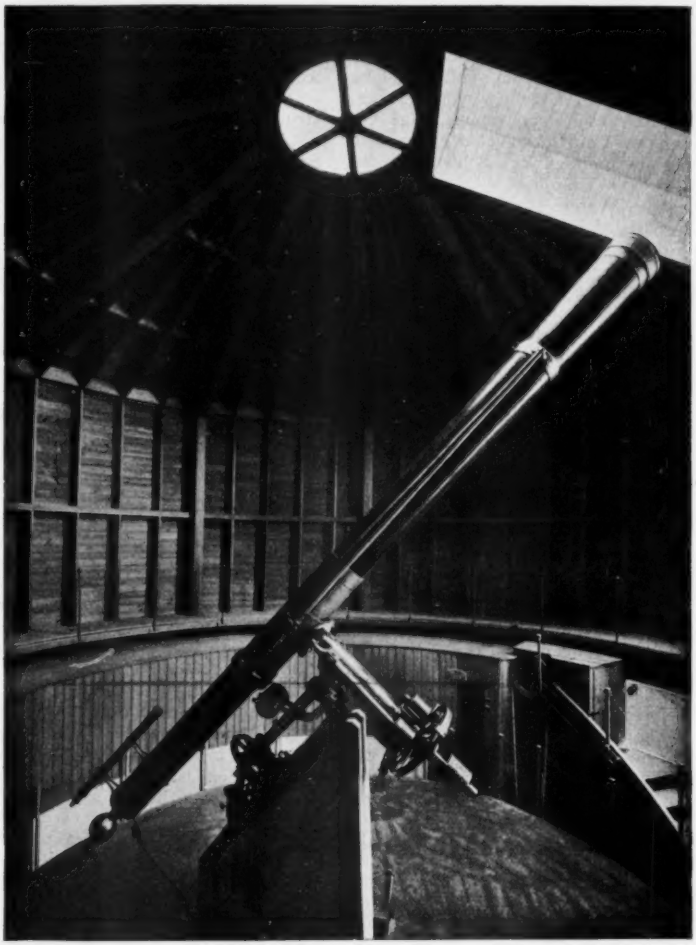


Fig. 4. Refraktor von 40½ cm Objektivöffnung, 7,3 m Brennweite, fertiggestellt 1839 in den Werkstätten der Nachfolger FRAUNHOFERS für die Sternwarte Pulkowa, jetzt aufgestellt im Deutschen Museum in München.

großen, 9zölligen Refraktors für die Dorpater Sternwarte, des Meisterwerkes FRAUNHOFERS, worin er bemerkt, daß der Regulator so genau ginge, daß der Stern während einer längeren Zeit im Gesichtsfeld des Fernrohres gehalten werden könnte. Man sieht daraus, daß man zur damaligen halten. Die Verbesserungen der Uhrwerke durch COOKE in England und WARNER & SWASEY in Amerika sind erst Jahrzehnte später entstanden. Auch der erst im Jahre 1839, 13 Jahre nach dem Tode FRAUNHOFERS, gelieferte, 15zöllige Refraktor für die Sternwarte Pulkowa, den FRAUN-

HOFER noch begonnen haben soll und sein Nachfolger MERZ vollendete, der bis ins kleinste ein Nachbild des Dorpater Refraktors FRAUNHOFERS ist, wird durch ein solches Doppelgangwerk angetrieben. Nebenbei bemerkt ist dieser große, 15zöllige Refraktor jetzt ein Glanzstück der astronomischen Abteilung des Deutschen Museums in München. Die Sternwarte Pulkowa schenkte ihn vor dem Weltkrieg dem Museum, und es gelang dem Direktor desselben, Exzellenz VON MILLER, persönlich den Refraktor noch wenige Tage vor Ausbruch des Krieges mit unsäglicher Mühe nach Deutschland zu überführen. Viele Schwierigkeiten machte FRAUNHOFER eine leichte Beweglichkeit des Instrumentes. Waren es doch schon recht erhebliche Gewichte, die bewegt werden mußten, um so mehr, als er das Fernrohr selbst nicht in seinem Schwerpunkt mit der Deklinationsachse verschraubte. Dieser lag nämlich, wie aus Fig. 2 ersichtlich, bei der konischen Form des Rohres und dem großen Mehrgewicht des Objektivs gegenüber dem Okularkopf, nicht in der Mitte des Rohres, sondern erheblich näher am Objektiv. Das lange Okularende hätte ein sehr hohes Stativ und eine ebenfalls sehr hohe Beobachtungsleiter erfordert. Aus diesen Gründen verlegte er die Befestigung des Rohres an der Deklinationsachse erheblich näher an das Okularende des Fernrohres und balanzierte das Übergewicht des Objektivendes des Fernrohres durch Gegengewichte am Okularende aus. Diese Gegengewichte, am Fernrohr selbst angebracht, hätten naturgemäß starke Verbiegungen desselben hervorgerufen, um so mehr als es nicht aus Metall, sondern aus Mahagoniholz gefertigt war. Er ordnete daher zu beiden Seiten des Fernrohres lange Hebel *a* (Fig. 2) aus Messingrohr an, die in der Mitte am Mittelstück des Rohres in kardanischen Gelenken aufgehängt waren und deren eines Ende mit einem Ringe *b*, der dicht unter dem Objektiv das Rohr umschloß, verbunden war, während das andere Ende die nötigen Gegengewichte *c* trug. Auf diese Weise verminderte er die Verbiegungen des Rohres um ein Erkleckliches, ja sie wurden sogar wesentlich geringer, als wenn er das Rohr im Schwerpunkt aufgehängt hätte.

Das Gewicht des Rohres und dadurch auch das Gegengewicht am Ende der Deklinationsachse wurden durch diese Konstruktion selbstverständlich erheblich höher; er nahm aber dieses Mehrgewicht gern in den Kauf, da der Vorteil in optischer Beziehung ihm größer erschien als der Nachteil durch die Mehrbelastung der Achsen.

Den sog. Leichtgang des Instrumentes erreichte er durch die Einführung von Friktionsrollen *d* (Fig. 2) (eigentlich richtiger als Antifriktionsrollen zu bezeichnen), die durch Vermittlung von Hebeln und Gewichten so gegen die Achsen gepreßt wurden, daß die Gewichte des Fernrohres durch diese Rollen aufgenommen und die Drücke in den Führungslagern und damit die Lagerreibung auf ein Minimum herabgesetzt wurden. Der Erfolg war ein vorzüglicher. Er schreibt darüber an STRUVE in Dorpat: „Das Instrument läßt sich trotz seines hohen Gewichts mit einem Finger bewegen." Und so muß es auch gewesen sein, sonst hätte er es mit dem verhältnismäßig unvollkommenen und kleinen Uhrwerk nicht bezwungen.

Heute werden manche Leser dieser Zeilen vielleicht sagen, die Hilfsmittel, die FRAUNHOFER anwendete, sind ja so einfacher Natur und heute so selbstverständlich, daß es keines übermäßig großen Genies bedurfte, um sie auszuführen. Sie vergessen dabei aber, daß er nicht einfach eine ihm gestellte Aufgabe löste, sondern daß er zum ersten Male ein so großes Instrument schuf, für das er die Anforderungen selbst erkennen mußte, die später etwa daran gestellt werden würden. Er hat die von ihm selbst an sich gestellte Aufgabe glänzend gelöst, und wir können nicht anders als sein Genie bewundern. Neben dieser großen Aufgabe hat FRAUNHOFER sich noch außerordentlich verdient gemacht durch die Konstruktion vieler Nebenapparate, unter denen die Mikrometer eine Hauptrolle spielen. Seine Ringmikrometer und Netzmikrometer sind noch heute fast unverändert im Gebrauch. Auch hier beschränkte er sich nicht darauf, das System anzugeben, sondern er konstruierte auch die Maschinen, mit denen diese Mikrometer hergestellt wurden.

Die weittragende Bedeutung FRAUNHOFERS für den Bau astronomischer Instrumente kann am besten daraus ermessen werden, daß seine Nachfolger bis in die Einzelheiten hinein die von ihm stammenden Konstruktionen beibehalten haben. Jahrzehntelang haben sich die Formen FRAUNHOFERS fast unverändert erhalten. Der bereits erwähnte, 15zöllige Refraktor der Sternwarte Pulkowa, der in Fig. 4 dargestellt ist, zeigt im Vergleich mit dem Dorpater Refraktor deutlich, daß seine Nachfolger es nicht gewagt haben, irgendeine Änderung in der Konstruktion vorzunehmen. Erst REPSOLD, COOKE in England, WARNER & SWASEY in Amerika sind von den FRAUNHOFERschen Formen etwas abgewichen, letzten Endes ist aber auch hier an den grundlegenden Gedanken wenig oder nichts geändert.

Joseph Fraunhofer als der Schöpfer der deutschen Feinoptik.

Von M. von Rohr, Jena.

Schon in meiner ersten Darstellung der Entwicklung optischen Glases in dieser Zeitschr. **12**, 781—797. 1924 habe ich den Versuch gemacht, mit meinen damaligen Kenntnissen den Zustand namentlich der englischen Glastechnik um den Anfang des 19. Jahrhunderts zu schildern, und ich kann darauf auch den Leser dieses Aufsatzes verweisen. Für die nachfolgende Darstellung ist indessen dieser Rahmen zu eng, und man wird die Bedeutung von FRAUNHOFERS Lebenswerk klarer ermessen, wenn man auf den Zustand der damaligen Feinoptik im ganzen eingeht, wie er für England hauptsächlich, aber auch für Frankreich galt, während in unserm Vaterlande von einem solchen kaum zu reden war. Daß dabei gelegentlich auch von den Glasverhältnissen gehandelt werden muß, läßt sich durchaus nicht vermeiden[1]).

Wenn also um das Ende des 18. Jahrhunderts der schlierige Zustand auch des englischen Flintglases dem wißbegierigen Laien hauptsächlich dadurch bekannt wurde, daß die herstellenden Optiker keine Linsenfernrohre mit wirklich großen Durchmessern liefern konnten — auch DOLLOND ist über $12^1/_2$ cm nicht hinausgekommen —, so ist es verständlich, daß man bei dem Wunsche nach größeren Geräten namentlich für die Sternforschung wieder auf die Spiegelfernrohre zurückgriff.

Man muß sich nur gegenwärtig halten, daß die schönen Nachforschungen Herrn D. BAXANDALLS die Bedeutung gerade der Londoner Hersteller von Spiegelfernrohren in ein helles Licht gesetzt haben. Insonderheit der Schotte J. SHORT, der sich aber im Jahre 1739 in London niedergelassen hatte, lieferte bis zu seinem Tode im Jahre 1768 ganz ausgezeichnete Standfernrohre GREGORYscher Anlage mit gut parabolisch geschliffenen Hauptspiegeln. Welch ein Wert lange Zeit auf diese Formen gelegt wurde, kann man auch daraus erkennen, daß solche Geräte, die gelegentlich wohl auch Liebhabern zur Betrachtung des Sternenhimmels dienten, noch um den Anfang des 19. Jahrhunderts in ziemlich großen Mengen auch auf dem Festlande, beispielsweise in der Westschweiz, hergestellt und abgesetzt wurden.

Für die Himmelsbeobachtung bediente sich namentlich der aus Hannover stammende, aus einem Musiker zum Sternforscher gewordene FRIEDRICH WILHELM HERSCHEL (* 1738, † 1822) der Spiegelrohre mit einem besonders großen und allgemein anerkannten Erfolg. Er hat, wie Untersuchungen der neuesten Zeit festgestellt haben, namentlich 7- und 10 füßige (= 2 und 3 m) Rohre von NEWTONscher Anlage in ziemlich großer Zahl[1]) auch auf dem Festlande abgesetzt, und man kann aus französischen Quellen z. B. darauf hinweisen, daß ein reicher Pariser Liebhaberastronom wie TRUDAINE 1790 ein solches 2 m-Rohr für den eigenen Gebrauch erstanden hat.

So sah es ganz aus, als sollte — wie zu NEWTONS Zeit — der Wissenschaft die Spiegelung leisten, was ihr die Brechung versagte, und die Meinung sehr bedeutender Sternforscher der damaligen Zeit war entschieden den Spiegelgeräten zugeneigt.

Freilich ganz ohne gewichtige Nachteile in rein optischer Hinsicht waren auch diese Vorkehrungen nicht. Der Lichtverlust bei zweimaliger Spiegelung war und blieb sehr beträchtlich, und das HERSCHELsche Mittel der Schiefstellung des Spiegels ließ sich auch nach dem Vorgange dieses Meisters selbst nur bei ganz großen Rohren mit einem Spiegeldurchmesser von 50 cm und mehr vorteilhaft verwenden, da die Abschattung durch den Kopf des Beobachters bei kleineren Spiegeln zuviel Licht abgehalten hätte. — Auch das in regelmäßigen Abständen notwendige Nachpolieren der rasch beschlagenden Spiegel (es scheint regelmäßig ein zweiter Spiegelsatz mit erstanden worden zu sein, um in diesen Pausen die Beobachtung fortsetzen zu können) wird nicht jeden Astronomen erfreut haben.

Wenn um das Ende des 18. Jahrhunderts, besonders nachdrücklich wohl von AL. ROCHON, Platinspiegel empfohlen wurden, da solche dem Beschlagen nicht unterlägen — auch der Pariser Fachmann N. S. CAROCHÉ hat ein ziemlich 2 m langes Spiegelrohr mit einem solchen kostbaren Spiegel von etwa $21^1/_2$ cm Öffnungsdurchmesser verfertigt —, so wird man darin weniger einen wirklich durchführbaren oder gar häufiger durchgeführten Vorschlag sehen — dazu war dieser

[1]) Da ich nicht beabsichtige, hier mit überpeinlicher Genauigkeit die älteren Quellen anzugeben, so sei auf ihre sehr zuverlässige Zusammenstellung bei E. VOIT, JOSEPH VON FRAUNHOFER, Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt 1887, auch S.-A. Th. Riedel, München, 20 S. 8°, 6 + und 1. Bildn., hingewiesen. Hiernach wird man neben VOIT [V.] auch die Arbeiten von FR. V. THIERSCH [v. Th., Th.] und S. MERZ leicht erkennen. Anführungen aus FRAUNHOFERS eigenen Schriften sind durch eingeklammerte Seitenzahlen nach der LOMMELschen Gesamtausgabe kenntlich gemacht.

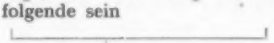
[1]) Nach den Angaben des Fürsten TRUBETZKOJ vom Jahre 1923 auf Grund von Papieren der Familie HERSCHEL hatte FR. W. HERSCHEL 1795 200 Spiegel zu 2 m-Rohren und 150 zu 3 m-Rohren hergestellt. Dabei kostete ein kleines dieser Rohre mit seiner vollständigen Ausrüstung 100 Guin. (= 2150 Goldmark), der Spiegel und die Okulare allein 30 Guin. (= 640 Goldmark). Eine gleichzeitige Preisangabe für die 3 m-Rohre findet sich dort nicht. Aber 7 Jahre früher hat er für das vollständige Rohr 3 verschiedene Preise angegeben, die zwischen 200 (= 4300 Goldmark) und 300 Guin. (= 6450 Goldmark) lagen. Daß er in Bath eine Werkstätte mit Arbeitern dafür hatte (1785 stand sie unter seinem ihm im Alter folgenden Bruder Alexander), entnehmen wir der gleichen inhaltreichen Anmerkung. Die Öffnungsdurchmesser erscheinen nach der neuen STEAVENSONschen Arbeit je $16^1/_2$ und $22^1/_4$ cm betragen zu haben.

Werkstoff auch damals zu teuer —, sondern daran mehr das Drängen der Sternforscher auf leistungsfähige und dabei bequemer zu handhabende Geräte ermessen.

Die bekannten Schwierigkeiten, die Schlieren im Flintglas den Optikern bei der Anfertigung farbenfreier Fernrohre boten, regten einen diesem Gewerbe ganz fernstehenden Erfinder, den Schiffswundarzt ROBERT BLAIR, bereits vor 1785 zu eingehenden Versuchen an, und sie führten ihn um 1791 zu einer überraschend genauen Beschreibung des Fehlers, den man heute als *sekundäres Spektrum*[1]) bezeichnet. Seine in diesem Jahre sowohl ausführlich in den Denkschriften der Edinburger Gesellschaft als auch andeutungsweise in dem gleichzeitigen englischen Patent Nr. 1800 beschriebene Erkenntnis soll in enger Anlehnung an die zweite Quelle, da die erste hier vorläufig nicht zugänglich ist, wiedergegeben werden. ‚Der ‚grundsätzliche Fehler der üblichen farbenfreien ‚Fernrohre sei der folgende: Im Verhältnis zu der ‚ganzen Brechung zwischen Rot und Violett breche ‚Flintglas das grüne Licht beträchtlich schwächer ‚als Kronglas; mithin sei, wenn die (Gesamt-) ‚Ablenkung zwischen Rot und Violett infolge der ‚Brechung beider Mittel gleich sei, die (Teil-) ‚Ablenkung zwischen Rot und Grün immer stärker ‚als im Flint und die (Teil-) Ablenkung zwischen ‚Grün und Violett im Kron immer kleiner als ‚im Flint.'

Um diese Beobachtung ganz bequem zu verstehen, sei ein Farbenband für Kron dargestellt durch die allein zu ungefährer Übersicht dienende Länge $r\,v$ mit dem Zwischenpunkte $g\,r$

dann würde für ein Flintprisma mit entsprechend kleinerem Winkel oder — bei objektiver Betrachtung — für eine geringere Entfernung des Auffangeschirmes, so daß das Farbenband $R\,V = r\,v$ vorläge, die Anordnung der drei Punkte etwa die folgende sein



so daß also, wie oben beschrieben, gilt

$$rgr > RGr;\ gr\,v < Gr\,V$$

Wie BLAIR bei seinen Versuchen möglicherweise vorgegangen ist, darauf wird sogleich noch ein Hinweis einzurücken sein.

‚Eine derartige Lagerung des Zwischenpunktes ‚sei aber auch bei stark zerstreuenden Mitteln ‚nicht unvermeidlich: Zwar finde sie sich bei ‚ätherischen Ölen und bei metallischen Lösungen; ‚dagegen ließen Salz- und Schwefelsäure ein ent-

[1]) Es sei darauf hingewiesen, daß der ungleichmäßige Gang der Zerstreuung in verschiedenen Mitteln schon 1762 A. C. CLAIRAUT, dann 1765 J. C. BOSCOVICH bekannt gewesen war. Doch wird R. BLAIR diesen Fehler den ausführenden Optikern Englands wohl zuerst nahegebracht haben.

‚gegengesetztes Verhalten erkennen und zeigten ‚trotz starker Farbenzerstreuung eine Anordnung ‚von *Gr* wie beim Kron. Durch geeignetes Mischen ‚gegensätzlich wirkender Flüssigkeiten sei es ihm ‚gelungen, ein Mittel zu erhalten, das viel stärker ‚zerstreue als Kron, in der inneren Verteilung der ‚Ablenkung aber dem Kron ganz entspreche und ‚somit diesen Fehler vollkommen zu heben ge‚statte, der von der ungleichartigen Brechbarkeit ‚des Lichtes stamme. Solche Fernrohre solle man ‚*aplanatische* nennen.'

In seiner Abhandlung hat er nach dem in GILBERTS Annalen **6**, 129 erschienenen Auszuge, der allein hier eingesehen werden konnte, Mischungen von „salzigsaurem Spießglanz" mit „Salzsäure" oder von „Quecksilbersublimat mit rohem Salmiak" als Beispiele angeführt, wobei namentlich die letztgenannte Mischung einen besonders lehrreichen Versuch durchführen ließe. ‚Eine aus‚gezeichnet scharfe Probe auf Farben erhalte man, ‚wenn man (nach NEWTONS alter Vorschrift) eine ‚Hälfte des Objektivs abdecke.'

R. BLAIR scheint noch 1797 an der Durchführbarkeit seiner Vorschrift für Fernrohre zu allgemeinem Gebrauch festgehalten zu haben, doch versteht man es heute sehr gut, daß auch im Jahre 1800 noch keine derartigen Geräte auf dem Markt waren.

Aber wie sehr man auch vom Standpunkte des ausführenden Optikers aus diese Anlage verurteilen mag, dem Verständnis, der Hingabe und dem wissenschaftlichen Eifer dieses frühen Liebhabers muß man heute große Anerkennung zollen, daß er bloß nach der Güte des Bildes urteilend, seine Beobachtungen so ausgezeichnet richtig deuten konnte. Verständlicherweise verhinderte die mangelnde Schärfe der Brechzahlbestimmung durchaus, diesen Weg weiterzuverfolgen, denn mit Rot, Grün, Violett oder irgendeiner mittleren Farbe war natürlich keine irgend scharfe Messung zu machen.

Die Äußerung R. BLAIRS blieb in England nicht ohne Widerspruch bei den Gelehrten und führte 11 Jahre später den bedeutenden Physiker W. H. WOLLASTON, ebenfalls einen Arzt, zu der folgenden Aussage[1]), die wegen ihrer Wichtigkeit für unseren Gegenstand in wörtlicher Übertragung folgen soll.

‚Diese Beobachtungen über die Zerstreuung ‚kann ich nicht ohne die Bemerkung abschließen, ‚daß die Farben, in die sich ein Strahl weißen ‚Lichts durch Brechung zerlegen läßt, mir weder ‚sieben an Zahl zu sein scheinen, wie man sie

[1]) WOLLASTON, W. H., A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection. (Read June 24, 1802.) Phil. Trans. 1802. 365–80, m. 3 + auf Tfl. XIV. S. dazu auch Neue Methode, die brechenden und zerstreuenden Kräfte der Körper vermittels prismatischer Reflexion zu erforschen, von Dr. WOLLASTON, dargestellt von MOLLWEIDE. Gilb. Ann. **31**, 235–51; 398–415. 1809. Hier besonders 412–5 und Abb. 1 auf Taf. VII.

‚gewöhnlich im Regenbogen wahrnimmt, noch ‚auf irgendeine (mir erfindliche Weise) auf drei ‚zurückführbar sind, wie sich das einige eingebildet ‚haben; sondern daß sich, wenn man ein sehr ‚enges Lichtbündel verwendet, 4 Abteilungen erster ‚Ordnung in dem prismatischen Farbenband er‚kennen lassen, und zwar mit einem Grade von ‚Deutlichkeit, wie er meines Wissens bisher noch ‚nicht beschrieben oder beobachtet worden ist.'

‚Wird ein Strahl von Tageslicht in ein dunkles ‚Zimmer durch einen Spalt von $1^1/_4$ mm Breite ein‚gelassen und vom Auge aus einer Entfernung von ‚3—$3^2/_3$ m durch ein dicht an das Auge gehaltenes ‚schlierenfreies Flintprisma aufgenommen, so er‚scheint der Strahl nur in die folgenden 4 Farben ‚Rot, Gelbgrün, Blau und Violett zerlegt, und zwar ‚in den auf Fig. 3 dargestellten Verhältnissen.'

‚starke, aber farblose Salpetersäure, reines Terpen‚tinöl, sehr helles Sassafrasöl und — ebenfalls ‚farblosen — Canadabalsam. An jedem dieser ‚Stoffe habe ich die gleiche Anordnung dieser ‚4 Farben gefunden und bei entsprechender Stel‚lung der Prismen die gleiche Ausdehnung der ‚Gebiete, soweit ich das beurteilen konnte.'

‚Wenn aber die Neigung eines der Prismen so ‚verändert wird, daß sich die Zerstreuung der ‚Farben vermehrt, so ändern sich ihre gegen‚seitigen Verhältnisse ebenfalls; und so können ‚die Gebiete *AC* und *CE* statt wie oben durch ‚39 und 61 ausgedrückt werden, sich auf 42 und ‚58 ändern [380].'

‚An Kerzenlicht kann man eine Folge von ‚Erscheinungen ganz anderer Art erkennen. Wenn ‚ein sehr enger Strich des blauen Lichts im unteren

W. H. WOLLASTONS Darstellung von 7 dunkeln Linien im Sonnenspektrum vom Jahre 1802.

‚Die Grenzlinie *A* für die rote Seite des Farben‚bandes ist ein wenig undeutlich, was zum Teil auf ‚das Unvermögen des Auges zu schieben sein mag, ‚rotes Licht [auf der Netzhaut] zu vereinigen. Die ‚Linie *B* zwischen Rot und Grün ist bei einer ‚gewissen Stellung des Prismas völlig deutlich, ‚ebenso wie *D* und *E*, die beiden Grenzen für ‚Violett. Aber *C*, die Grenze zwischen Grün und ‚Blau, ist nicht so deutlich abgeschnitten wie die ‚andern; auch befinden sich ihr zu beiden Seiten ‚andere deutliche schwarze Linien *f* und *g*, die ‚beide bei einer unvollkommenen Ausführung ‚dieses Versuchs irrtümlich als Grenzlinie dieser ‚beiden Farben angesehen werden könnten [379].'

‚Am deutlichsten sind die Farbengebiete ge‚trennt, wenn der einfallende Lichtstrahl mit den ‚beiden Prismenflächen etwa die gleichen Winkel ‚einschließt. Dafür habe ich gefunden, daß die ‚Farbengebiete *AB*, *BC*, *CD*, *DE* sich nahezu ver‚halten wie die Zahlen 16, 23, 36, 25.'

‚Da nach der Annahme Dr. BLAIRS die gegen‚seitigen Verhältnisse dieser Farbengebiete nach ‚dem sie hervorbringenden Mittel schwanken, so ‚habe ich mit dem oben beschriebenen Aussehen ‚solche Farbenbänder verglichen, wie sie durch ‚prismatische Tröge entstehen, die Stoffe enthalten, ‚die nach seiner Annahme in dieser Hinsicht die ‚größten Verschiedenheiten aufweisen, nämlich

‚Teil einer Kerzenflamme für sich allein in gleicher ‚Weise durch ein Prisma untersucht wird, so er‚scheint das Farbenbild nicht wie ein stetiges ‚Band von Lichtstreifen verschiedener Farbe, ‚sondern es zerfällt in 5 Einzelbilder in gegen‚seitigen Abständen. Das erste ist deutlich rot ‚mit einer hellgelben Grenze; das zweite und das ‚dritte sind beide grün; das vierte und das fünfte ‚sind blau, und eben das letzte scheint mit der ‚Trennungslinie *D* in dem Sonnenspektrum der ‚Fig. 3 übereinstimmend.'

‚Dient als Untersuchungsgegenstand die blaue ‚Linie des elektrischen Lichts, so fand ich das ‚Farbenband ebenfalls in mehrere Einzelbilder ‚zerfallen; aber die Erscheinungen sind etwas ‚anders als die vorhergehenden. Es ist indessen ‚zwecklos, Erscheinungen eingehender zu beschrei‚ben, die sich mit der Helle des Lichts ändern ‚und die zu erklären ich nicht auf mich nehmen ‚kann.'

Man kann vielleicht eine unausgesprochen gelassene Meinung WOLLASTONS erkennen, daß BLAIR, da er wohl, um bei subjektiver Beobachtung die gleiche Länge des Farbenbandes zu erhalten, seine Prismen neigte, auf diese Weise Fehler in seine nachträgliche Messung eingeführt haben möge. Solch eine Neigung der Prismen wird man voraussetzen müssen, wenn BLAIR ebenfalls, etwa der

größeren Helligkeit wegen, die Spektren subjektiv prüfte.

Wendet man sich nach diesen kurzen Mitteilungen über den Kampf der Gelehrten und der Optiker mit den offenkundigen Nachteilen der damaligen Geräte der Herstellung der Durchschnittswaren zu, so muß man selbstverständlich mit dem englischen Gewerbe beginnen.

Man führte in London, wie neuere Untersuchungen RAMSDENscher und BERGEScher Zugfernrohre gezeigt haben, das farbenfreie Fernrohrobjektiv zunächst gern nach J. DOLLONDS Vorgange als dreiteilige Anlage aus, wo 2 Kronlinsen die beiderseits hohle Flintlinse umschlossen. Doch zwang schon um den Ausgang des 18. und den Beginn des 19. Jahrhunderts die leidige Schwierigkeit der Glasbeschaffung den Londoner Optikern eine zweifache Verbindung mit Kron voraus zur Annahme auf.

Übrigens war auch die Beschaffenheit der für diese achromatischen Objektive verwandten Glasarten gar nicht ohne Tadel. J. H. TIEDEMANN in Stuttgart klagte schon 1785 in seinem Büchlein darüber, daß die Linsenflächen nicht selten beschlügen, und richtete seine Objektivfassung so ein, daß man die Linsen zum Putzen aus ihr entfernen und später wieder hineintun konnte.

Wenn man gelegentlich bei der älteren dreifachen Anlage Klagen über den Lichtverlust durch Zurückwurf an den vielen Flächen gegen Luft hört, so wurde die Verminderung dieses Verlusts an der späteren zweifachen Form anscheinend wenig gewürdigt, und zwar deswegen, weil die Hebung der Kugelabweichung bei der Doppellinse zugestandenermaßen mangelhafter war. Eine Durchrechnung vorhandener, genau nachgemessener Stücke hat jene alten Vorwürfe bestätigt und einen sehr merklichen Betrag von Überbesserung des Objektivs bei gelbem Licht erkennen lassen. Dagegen war die Behandlung der Farbenabweichung aller Anerkennung würdig, die Farbenfehler des Objektivs und des Okulars waren so gut gegeneinander abgestimmt, daß man auch heute mit den gleichen Werkstoffen keine wesentliche Änderung zum Besseren durchführen könnte.

Man kann schließlich noch hervorheben, daß der richtig vorgeschulte Londoner Optikergeselle wohl schon damals regelmäßig im Körperschleifen von Linsen ausgebildet war; nachweisen läßt sich das meines Wissens zwar erst von 1808 ab, aber meine Kenntnis der Entwicklung der Schleifverfahren in London ist verständlicherweise sehr oberflächlich. Man wird danach verstehen, daß der Londoner Facharbeiter in optischen Betrieben bei seiner für die damalige Zeit recht bemerkenswerten technischen Ausbildung auch noch um 1831 gar nicht daran glauben wollte, daß man im Auslande ähnliches leisten könne, obwohl eine gerechte Bewertung der höchsten Leistungen optischer Kunstfertigkeit damals tatsächlich zu anderen Ergebnissen geführt haben würde. Für den Anfang des 19. Jahrhunderts aber muß die Überlegenheit der Londoner Technik als ganz fest begründet gelten.

Die französischen Optiker scheinen damals, soweit meine nicht sehr eingehende Kenntnis reicht, hinter den englischen zurückgeblieben zu sein. Einen Hauptgrund wird man in dem mangelhaften Glasersatz suchen müssen, der ihre Herstellung von Objektiven aus Flint und Kron sowohl der Zahl als dem Durchmesser nach beschränkt haben wird, sobald man sie mit der englischen Erzeugung verglich. Dafür kann man nicht nur die anfänglichen Versuche von PASSEMENT in den Jahren 1761 und 1763 anführen, sondern auch ein eingehender Bericht des optischen Fachmanns J. G. A. CHEVALLIER über eine ihm bemerkenswert erscheinende Flintlieferung aus der Zeit um 1811 wirft ein recht deutliches Licht auf den Stand des damaligen Glasersatzes.

Wenn man damals in Paris den Versuch machte, durch eine Art verbindenden Kitt 4 von den 6 spiegelnden Flächen gegen Luft, wie sie bei der Anlage nach DOLLOND vorkamen, unschädlich zu machen, so verdient dieser Vorschlag an sich durchaus nicht die Verwerfung, die ihm J. RAMSDEN nach einem Berichte W. NICHOLSONS zuteil werden ließ. Aber es ist wohl möglich, daß die Pariser Optiker ihn damals nicht zweckmäßig durchgeführt haben. An sich ist DE LALANDE in seiner Ablehnung zweifellos zu weit gegangen, wenn er wirklich die verkitteten Objektive in Bausch und Bogen verurteilt hat.

Mit großer Geduld und großem Fleiß hat man in Paris aber gesucht, das mangelhafte Flintglas zu verbessern, hat sorgfältige Versuche gemacht, die geblasenen dünnen Flintglasplatten in ihrer Form zu verändern, hat zu diesem Zwecke anscheinend schon früh Senkverfahren entwickelt und durch vorhergängige Entfernung der bösesten Schlieren auch die Gleichartigkeit des gesenkten Glases zu erhöhen gesucht. Man muß im Hinblick auf die Geschichtsforschung immer wieder bedauern, daß die französischen Zeitschriften jenes Abschnitts in Jena so schwierig zugänglich sind, und man daher dort vielfach auf lückenhafte und nicht immer mit zweifelloser Sachkunde angefertigte Auszüge und Übersetzungen angewiesen ist.

Auch das von P. L. GUINAND im Jahre 1798 von dem Pariser Optiker N. S. CAROCHÉ übernommene Verfahren der Prüfung auf Schlieren läßt erkennen, daß man mit Verständnis vorging, und wenn auch die unsicheren Zeitverhältnisse nach der folgenschweren Staatsumwälzung kaum der regelmäßigen Vervollkommnung optischer Kunstfertigkeit sehr förderlich gewesen sein werden, so war doch ein Schatz von Erfahrungen in der optischen Technik da, und geschulte Arbeiter können nicht gefehlt haben. Es kann daher nicht weiter verwundern, wenn wir in den 20er Jahren des 19. Jahrhunderts optische Künstler in Paris an erfolgreicher Arbeit sehen, sobald der Glasmangel nur einigermaßen gehoben war.

Wendet man sich nunmehr zu unserm eigenen Sprachgebiet, so kann man nur ein ganz trübes Bild entwerfen, dessen dichte Schatten den richtigen Hintergrund für das leuchtende Bild des Münchener Unternehmens abgeben, das sich von ihnen reizvoll und vielversprechend wie der Regenbogen von der Wolkenwand des abziehenden Gewitters abhebt.

Es sind im wesentlichen drei verschiedene Betriebsformen, die wir im eigenen Gebiet zu schildern haben, die Brillenwerke in Oberdeutschland, die ansässigen *Optici* (die künstlichen Optikermeister) und schließlich die für „Verlagsanstalten" arbeitenden Liebhaberschleifer.

Geschäftlich von der größten Bedeutung unter diesen 3 Gruppen waren die Brillenwerke, hauptsächlich in Nürnberg und Fürth, die allmählich das Geschäft in billigen Drahtbrillen (namentlich Arbeitsbrillen für Alterssichtige) so gut wie völlig an sich zogen. Sie arbeiteten ausschließlich für Wiederverkäufer, die sie mit sehr billigen und sehr schlechten Waren versorgten. Namentlich die Formengebung der Linsenflächen war ungemein mangelhaft und völlig veraltet.

Ihnen standen die handwerksmäßigen oder in der Sprache jener Zeit künstlichen Optiker gegenüber. Sie lieferten besser geschliffene Gläser zu höheren Preisen an die Eigenbenutzer. An vielen Orten werden sie über ganz einfache Fassungen nicht hinausgekommen sein, da ihnen einträgliche Brillenlieferungen für die Kreise der Gesellschaft durch die der Brille abgeneigte Sitte der Rokokozeit so gut wie unmöglich gemacht wurden. In reicheren Landeshauptstädten wird ein besserer Verdienst gewesen sein, und so gelang bevorzugten Vertretern dieses Standes wohl in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Entwicklung der den Augen vorzuhaltenden Scherenbrille, die von dem Brauch der Gesellschaft zugelassen wurde. Daneben konnte ein gewisser Absatz in zierlich ausgestatteten Handröhrchen erwartet werden, der namentlich im deutschen Süden zur Gründung einiger bevorzugter Perspektivmacher-Geschäfte geführt hat. Ja, von der württembergischen Landeshauptstadt lernt man die Kunstfertigkeit eines aus dem deutschen Nordwesten dahin verschlagenen, selbstunterrichteten Optikers J. H. TIEDEMANN (* 1742, † nicht vor 1809) kennen, der sich auf die Herstellung verschiedener optischer Geräte nach englischem Muster geworfen hatte. Versuchen, bessere Brillen zusammen mit optischen Instrumenten (z. T. aus England eingeführt) darzubieten, begegnen wir in dem als Meßplatz besonders bevorzugten Leipzig, aber auch hier dürfen wir unsere Erwartungen nicht allzu hoch spannen, wenn wir bei der Wahrheit bleiben wollen. An ungünstiger gelegenen Orten scheinen hier und da auch fest angesessene Optiker ihre Waren durch den Hauptreiz der Billigkeit empfohlen zu haben, was dann zu einem besonders unerfreulichen Wettbewerb mit den Brillenwerken Oberdeutschlands führte.

Eine dritte Gruppe, die uns erst in neuerer Zeit durch eingehende Durchforschung des hauptsächlichsten deutschen Zeitungsblattes für den Mittelstand bekanntgeworden ist, bildeten die für Verlagsanstalten arbeitenden Liebhaberoptiker, die in den letzten Jahren des 18. Jahrhunderts im wesentlichen wohl Mikroskope aus einfachen Linsen von etwas besserer Beschaffenheit geliefert haben mögen, als das den Nürnberger Schundwerken möglich war. An irgendwie höher stehende Leistungen wird man nicht zu glauben haben: Doch verdient dieser neue Berufsstand darum eine besondere Erwähnung, weil aus ihm AUGUST DUNCKER hervorging, der Begründer der Kgl. privilegierten Optischen Industrie-Anstalt in Rathenow. Es handelte sich hier um einen Mann mit Universitätsbildung, der also den mangelhaft, wenn überhaupt, auf dem Gebiete der Optik vorgebildeten handwerksmäßigen Wettbewerbern in theoretischer Hinsicht weit überlegen war. Er führte eine Verbesserung der Flächengestaltung durch Maschinenarbeit ein und hat gleich von vornherein die Herstellung von Brillengläsern und daneben auch von Gestellen in größerem Maßstabe aufgenommen. Außerdem bot er auch Perspektive und die ihm wohlbekannten Mikroskope (mit einfachen Linsen) an, ohne daß er allem Anscheine nach auf diesem Gebiete führend gewirkt hat. Mit Brillen in besserer Ausführung und doch zu verständigen Preisen hat er bald ziemlichen Anklang gefunden und so die ersten Schritte dazu getan, den Ladenoptikern das Schleifen der Brillengläser abzunehmen und ihnen nur die gutbezahlte Anpassung zu überlassen.

Sehr eigentümlich ist es, daß damals an sehr verschiedenen Stellen Brillengläser aus Flint angezeigt wurden, und zwar nicht allein von herumreisenden Marktschreiern, wie z. B. LEHMANN aus der Grafschaft Kastell, sondern auch von tüchtigeren Vertretern des Optikergewerbes, wie eben dem Rathenower Fabrikunternehmer A. DUNCKER. Er hatte 1800, als ihn ein Untersuchungsausschuß von Staatsbeamten besuchte, schon eine ziemliche Menge von Flintglasbrocken für solche Brillengläser eingekauft. Man kann im Vorbeigehen bemerken, daß sich dieser eigentümliche Brauch — ich nehme an, in dem Wunsche, den Brillengläsern möglichst schwache Krümmungen zu geben — noch lange am Leben erhielt und noch 1864 dem holländischen Augenforscher F. C. DONDERS als lebenskräftig bekannt war. Die festländischen Erzeugungsstätten scheinen in ziemlicher Zahl mindestens in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gelegentlich Flintbrillen angezeigt zu haben.

Man wird an diesem Bilde keinen Anlaß zu besonderem Stolz finden können: Die Keime einer erfreulichen Entwicklung waren doch nur schwach und klein, und auch der Rathenower Betrieb bedurfte einer tatkräftigen und in höherem Maße sachkundigen Leitung. Sie ist ihm in der Tat zuteil geworden, aber erst zu einer Zeit, die weit

hinter dem hier zu besprechenden ersten Viertel des 19. Jahrhunderts liegt.

Eine Änderung dieses durchaus unbefriedigenden Zustandes der Erzeugung feinerer optischer Geräte im deutschen Sprachgebiet ergab sich aus dem Wunsche, neuzeitige Vermessungsgeräte in Bayern zu schaffen. Der ausgezeichnete Ingenieur G. REICHENBACH (* 1772, † 1826) und der Uhrmacher J. LIEBHERR (* 1767, † 1840) hatten sich miteinander verbunden, diesem Mangel abzuhelfen, und ihnen schloß sich 1804, flüssige Mittel und erprobten Unternehmungsgeist einschießend, der erfolgreiche Fabrikherr JOSEPH UTZSCHNEIDER (* 1763, † 1840) an. Obwohl mit Einzelheiten der optischen Arbeiten nicht bekannt, bereiste er 1805 die süddeutschen optischen Betriebe, die ihm aber keinen besonderen Eindruck gemacht zu haben scheinen. Im Gegenteil glaubte er in dem westschweizer Schmelzfachmann GUINAND auch einen geeigneten Optiker für die Schleifarbeiten gefunden zu haben.

Immerhin war diese Kraft 1805/06 und darüber hinaus bei der Ausführung der Schmelzen optischen Glases kaum zu entbehren, und man wird sich damals in München bei dem Schleifen der Linsen so gut geholfen haben, wie man eben konnte, und das wird zweifellos nicht besonders vorbildlich gewesen sein.

Man wird annehmen können, daß die mechanische Arbeit unter so sachverständiger Leitung wie von G. REICHENBACH und J. LIEBHERR gut vorwärtsschritt, und UTZSCHNEIDER erinnerte sich 1826, daß damals manche, in ihren mechanischen Teilen fertige Geräte am Lager gestanden und auf ihre Linsen gewartet hätten. Die optischen Arbeiten, in denen die leitenden Kräfte weniger bewandert gewesen sein werden, standen unter dem Meister JOSEF NIGGL, der aber seine Stellung dort noch 1807 aufgegeben hat. Sein Nachfolger war J. FRAUNHOFER, auf dessen äußeren Lebensgang wir nunmehr kurz eingehen müssen.

J. FRAUNHOFER war am 6. März 1787 als das 11. Kind des Glasermeisters FRANZ XAVER FRAUNHOFER geboren und trat nach ganz mangelhafter Schulung mit etwa $12^1/_2$ Jahren, nämlich im August 1799, bei dem Münchner Spiegelmacher und Glasschleifer PHILIPP WEICHSELBERGER in die auf 6 Jahre bemessene Lehre: Wie wir aus späteren Aussagen hören, war seine Absicht, ein tüchtiger Brillenmacher zu werden, denn andere Aussichten lagen wohl ganz außerhalb seines Gesichtskreises. Wir wissen ferner in einigermaßen unbestimmter Weise, daß er, wohl bei Antritt seiner Lehrzeit, zwar habe lesen, aber nicht schreiben und rechnen können, und vermögen daraus einen Schluß auf seine mit ganz unerhörtem Fleiße verbundene Begabung zu ziehen, wenn wir beachten, was er bald danach, schon 1807, in der Anwendung höherer Rechnung auf optische Aufgaben geleistet hat. Den gleichen Schluß müssen wir aus der Tatsache ziehen, daß er später imstande war, von seinen wichtigeren Abhandlungen selber Übersetzungen in die französische Sprache anzufertigen. Einzelheiten kennen wir wenig, vielleicht mag man den Jammer einer solchen Lehrlingszeit, die niedrigen häuslichen Dienste, die von einem derartigen Burschen verlangt wurden, den gänzlichen Mangel an Teilnahme, die törichte Herrschsucht eines geistlosen Lehrherrn einer gleichzeitigen Schilderung entnehmen, die KARL FRIEDRICH VON KLÖDEN in seinen Jugenderinnerungen gegeben hat. Seine Lehrzeit begann im Oktober 1801, und die Vernachlässigung seines geistigen Lebens ist dem regsamen und erstaunlich lernbegierigen Knaben — er hatte freilich mit FRAUNHOFER verglichen eine merklich bessere Vorschulung erfahren — besonders hart angekommen. Schwerlich ist es FRAUNHOFERN als Lehrburschen besser ergangen, und es wirft ein grelles Licht darauf, daß sein Lehrherr ihm jede geistige Fortbildung untersagte. Den ersten Anlaß zu einer Besserung seiner Lage bot am 21. Juli 1801 ein schlimmer Unglücksfall, der Zusammenbruch des altersschwachen Gebäudes, in dem sich die Werkstatt befand. Frau WEICHSELBERGER wurde erschlagen, der im 15. Lebensjahre stehende Lehrling wurde verschüttet, konnte aber durch die Rettungsarbeiten, die der Polizeimeister A. VON BAUMGARTNER leitete, ohne Beschädigung seiner Gliedmaßen gerettet werden. Der Landesherr, der bayrische Kurfürst MAXIMILIAN JOSEPH, nahm ebenfalls persönlich an dem Geretteten Anteil und beschenkte ihn mit 18 Dukaten (= 173 G.-M.), einer für die damalige Zeit sehr beträchtlichen Summe.

Auch der Geheimreferendar J. UTZSCHNEIDER zeigte sich dem Knaben freundlich, wenngleich es damals zu keiner näheren Bekanntschaft kam. Für uns ist es von Wichtigkeit zu hören, daß sich der junge FRAUNHOFER von dem Geschenk eine Glasschneidemaschine erstand, die er in seinem künftigen Berufe gut würde brauchen können. Er kaufte ferner seinem Meister das letzte Halbjahr seiner Lehrzeit ab, so daß er im Frühjahr 1805, also mit dem Beginn seines 19. Lebensjahres, Geselle geworden sein wird. Für seine Schulung konnte er nichts weiter tun, als die Feiertagsschule besuchen, wie er noch 1805 dort einen Preis (den 23. unter 86 Schülern) erhielt.

Seine Gesellenzeit verlief zunächst wohl ähnlich kümmerlich wie die K. F. v. KLÖDENS, und ganz wie dieser mußte er bei seinem früheren Meister aushilfsweise arbeiten; Gravierarbeiten für Besuchskarten, die er geplant hatte, konnte er bei dem Geldmangel jener kriegführenden Zeit nicht loswerden, doch hatte er sich dabei auf dem Gebiete des Stechens in Kupfer solche Kenntnisse erworben, daß er später Tafeln für seine wissenschaftlichen Arbeiten in schwierigen Fällen selber zu stechen vermochte.

Hier half ihm die Gründung der optischen Werkstätte, und er wandte sich an J. UTZSCHNEIDER, der ihn schon 1807, also in seinem 21. Jahre, in dem Betriebe beschäftigte, und zwar heißt es

(v. Th. 28), er sei „unter die technische Leitung „von NIGGL und die wissenschaftliche Pflege von „SCHIEGG gestellt" worden. Über den Erstgenannten wird noch weiter unten zu handeln sein. Was ULRICH SCHIEGG (* 1752, † 1810) angeht, so war dieser in seinem 20. Jahre in den Benediktinerorden getreten und hatte seit 1791 an der Salzburger Universität ein Lehramt bekleidet, ja auch naturwissenschaftliche Vorlesungen gehalten. Nach Aufhebung seines Klosters wurde er 1803 nach München als Astronom berufen, nach (Sp. 37) auch in die Akademie aufgenommen. Er wurde später bei der Vermessung der neu angegliederten fränkischen Gebiete verwandt und verunglückte dabei durch einen Unfall auf der Reise. Auf FRAUNHOFER hat er offenbar nur kurze Zeit einwirken können, und man möchte glauben, daß dessen Entwicklung in seinem Sonderfach ihn bald von einem Vertreter der allgemeinen Naturwissenschaften hinweggeführt haben wird. Nach der Erinnerung ERTELS als eines Ohrenzeugen hat G. REICHENBACH schon bald nach FRAUNHOFERS Anstellung die große Begabung des jungen Gesellen in einer für den damaligen Meister nicht eben erfreulichen Weise anerkannt. Er wirkte zunächst unter dem Meister J. NIGGL (* 1778, † 1835). In unserer Zeit ist Herr A. SEITZ[1]) diesem durchaus nicht unfähigen Meister der alten Schule nachgegangen, der sich später in München selbständig gemacht hat und als ein recht tüchtiger Arbeiter galt. Man möchte aber heute nicht glauben, daß sich dieser äußerlich schroffe, ja bärbeißige Mann für die Entwicklung neuer Verfahren in einem höheren Maße geeignet habe. Er hat noch im Jahre 1807 mit FRAUNHOFER zusammen gearbeitet.

Was damals hergestellt wurde, darüber kann man heute nur noch Vermutungen äußern. Ob auch Brillengläser, auf die NIGGL besonders geschult war, ausgeführt wurden, ist ganz unsicher; auszuschließen ist es um so weniger, als doch P. L. GUINAND früher ebenfalls dieses Gebiet der technischen Optik bestellt hatte. Dagegen spricht allein, daß bis jetzt keine Anzeigen dieser Waren bekanntgeworden sind[2]). Billige Operngläser für ein einzelnes Auge sind bestimmt gemacht worden: 1811 werden nur solche mit einer Doppellinse als Objektiv etwa zu 12,50 und 13,50 S.-M. angeboten, aber gegen Ende von 1812 hören wir auch von zwei mit einer Einzellinse als Objektiv versehenen Stücken, die je mit 8 und 10 S.-M. ausgezeichnet waren. Vorausgreifend mag man bemerken, daß alle diese billigen Waren bestimmt nicht FRAUNHOFERS Billigung hatten, wie er sie ja sicherlich im August 1817 ausdrücklich für seinen Betrieb ablehnte. Man darf eben nicht vergessen, daß die tüchtigen Handwerksmeister zu London und Paris die Brille von alters her übernommen hatten und sie auch bei ihrem inzwischen merklich gehobenen Stande willig weiterführten, zumal sie bei der Anpassung ihre Geschicklichkeit beweisen und an wohlhabenden Käufern gut verdienen konnten. Demgegenüber scheint FRAUNHOFER sehr früh den Standpunkt des wissenschaftlichen Optikers eingenommen und — was noch PETZVAL in den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts ausgesprochenermaßen tat — stillschweigend „edle" Erzeugnisse der Optik anerkannt zu haben, zu denen er Brillen und Handröhrchen offenbar nicht rechnete. Nebenbei vermochte er verständlicherweise von dem weltfernen Benediktbeurn aus keine Brillen anzupassen, und die Käufer waren sicherlich nicht so begütert wie in den westlichen Hauptstädten. Vielleicht konnte er erst nach REICHENBACHS Austritt im Februar 1814 die Handröhrchen aus den Preislisten verschwinden lassen.

NIGGL gab also, um von dieser Abschweifung zurückzukehren, gegen Ende des Jahres 1807 freiwillig seine Stellung an dem UTZSCHNEIDER-REICHENBACHschen Betriebe auf und wurde durch J. FRAUNHOFER ersetzt. Wie das Verhältnis zwischen diesen beiden Optikern gewesen ist, wissen wir nicht: Vielleicht ist mit einer Gruppe älterer Gewährsmänner wirklich anzunehmen, daß sich der Vertreter der älteren Arbeitsweise nicht mit dem Schöpfer einer völlig neuen zu einigen vermochte. Vom 2. August 1817 hören wir, daß sich ein Münchener Akademiker SCHWEIGGER bei FRAUNHOFER für den in Not geratenen J. NIGGL verwandt hat. Das Ergebnis war eine höfliche Ablehnung, da gerade die Erzeugnisse NIGGLS — holländische Fernrohre und Brillengläser — in dem FRAUNHOFERN unterstellten Betriebe nicht verwertbar wären. Doch ist es ebensowohl möglich, daß NIGGL sich mit GUINAND nicht zu stellen vermochte, der ja jedenfalls sofort die Leitung auch dieses Betriebes beansprucht haben wird.

FRAUNHOFER hatte schon 1807 seine große Begabung auch auf theoretischem Gebiet erwiesen durch die Abfassung einer (heute verschollenen) Arbeit über die Abweichung außer der Achse bei Teleskopspiegeln. Die Wahl dieses Gegenstandes ist nicht weiter verwunderlich, da gerade in dieser Zeit ziemlich viele HERSCHELsche Spiegelfernrohre von 2 und 3 m Länge und je $16^1/_2$ und $22^1/_2$ cm Spiegeldurchmesser auch an festländischen Sternwarten im Gebrauch gewesen zu sein scheinen. Von der Anlage und den Preisen derartiger Rohre haben wir ja auf S. 539 gesprochen. Den Inhalt dieser Arbeit FRAUNHOFERS kennen wir nur durch die kurze Erwähnung in dem UTZSCHNEIDERschen Nachruf, worin er hervorhebt, daß FRAUNHOFER für die hyperbolische Form und gegen die parabolische eingetreten sei. Es braucht darüber nichts weiter gesagt zu werden, weil bei dem Anstellungsvertrage FRAUNHOFERS schon im Februar 1809 die Herstellung von Spiegelrohren ausgeschlossen wurde, was ja ganz verständlich

[1]) Der Münchner Optiker JOSEF NIGGL. C. Z. 1923. 44. 150/4 (5. VII.).

[2]) Ein solcher Nachweis ist inzwischen von Herrn A. SEITZ erbracht und der Beleg in seinem FRAUNHOFER-Büchlein veröffentlicht worden.

ist, wenn man an UTZSCHNEIDERS Pläne mit optischem Glase denkt. An einer späteren Stelle werden wir auf die Stellung des Münchener Betriebes zu den Spiegelrohren noch einzugehen haben, wie sie uns aus einer späten Äußerung FRAUNHOFERS klar wird.

FRAUNHOFER mag 1807 noch in München angestellt worden sein, denn nur dort wird U. SCHIEGG ihm haben helfen können, da ihn sein Beruf im wesentlichen an die Hauptstadt fesselte. Nach S. MERZ (6) hat aber UTZSCHNEIDER die Schleiferei schon Ende des gleichen Jahres nach Benediktbeurn verlegt, wo sie, wie man nach dem Vertrage vom 20. Februar 1807 jedenfalls schließen muß, unter P. L. GUINANDS Leitung hätte stehen müssen.

Schon oben war auf die Möglichkeit hingewiesen worden, daß sich J. NIGGL in diese Unterordnung nicht hat fügen wollen, und es stimmt mit der Annahme einer zeitweiligen Oberleitung GUINANDS sehr gut, wenn dieser (Naturwissenschaften 1925, S. 620 r) später seinem Schüler E. REYNIER mitteilte, er habe FRAUNHOFERN das Schleifen und Polieren auf [wasserkraftgetriebenen] Maschinen beigebracht. Im übrigen aber klafft hier eine Lücke in unserer Kenntnis von den ersten Jahren FRAUNHOFERS in Benediktbeurn. Aktenmäßig bestimmtes wissen wir erst wieder durch den Abschluß des Vertrages vom Februar 1809, durch den FRAUNHOFER in die Leitung des Unternehmens an die Seite von UTZSCHNEIDER und REICHENBACH aufgenommen wird.

Daß er sich also in den 14 oder 15 Monaten von Ende 1807 bis zum Februar 1809 ganz ungewöhnlich hervorgetan hat, ist gar nicht zu bezweifeln, und man mag annehmen, daß GUINAND ihm ein so erstaunlich rasches Hinauswachsen über die ihm selber zugeteilte Stellung verübelt hat; denn diese beiden Fachmänner und Betriebsgenossen haben später nicht miteinander auskommen können; aber Einzelheiten dazu sind von ihrer keinem überliefert worden.

Die einzige Angabe zeitlicher Art, die mir bei der Durchsicht der FRAUNHOFER-Erinnerungen zu seinem Schleif- und Polierverfahren aufgefallen ist, steht in der VOITSchen Schrift zur 100. Wiederkehr seines Geburtstages. Dort heißt es ausdrücklich, daß diese Erfindungen in zeitlicher Reihenfolge aufgeführt würden, doch finden sich keine Jahreszahlen. Für alle diese Vorkehrungen, soweit sie zu den Maschinen gehören, werden Zeichnungen beigegeben, die von dem STEINHEILschen Betriebe gefördert wurden, wenn sie nicht gar da entstanden sind. Es steht das in guter Übereinstimmung mit der verständnisvollen und ehrerbietigen Würdigung, die schon C. A. STEINHEIL für den leitenden Geist des ältesten Münchner feinoptischen Betriebes hatte.

Der Reihe nach handelt es sich (V. 5) um eine Poliermaschine, bei der die Geschwindigkeit beim Polieren durch ein Metronom vor schädlichen Schwankungen behütet wurde. Die Prüfung der polierten Flächen erfolgte (V. 5) durch das inzwischen allgemein bekanntgewordene Probierglasverfahren. An dritter Stelle wird (V. 6) eine Pendelschleifmaschine aufgeführt und ferner auf besonders feine Fühlhebel (V. 6) und ein Sphärometer (V. 7) hingewiesen. Die Ablesung geschah an einer Teilung, über der ein die Tasterverschiebung stark vergrößernder Hebel spielte.

Mindestens einen Teil dieser grundlegenden Erfindungen muß man wohl in diese 14 oder 15 Monate verlegen: Ohne vohrergehende ganz bedeutende Leistungen wäre FRAUNHOFERS Aufnahme als Teilhaber in die Betriebsleitung unerklärlich; denn der neue Vorsteher hatte am 7. Februar 1809 sein 22. Lebensjahr noch nicht ganz vollendet.

Über die technischen Verfahren, die FRAUNHOFER verwandte, ist seinen eigenen Worten nur ganz wenig zu entnehmen. Dem Berichtenden ist nur aufgefallen (43 δ) die Angabe, daß die gewöhnlichen Spiegel damals „mit Hutfilz und benetztem Eisenoxyd" poliert wurden, was möglicherweise dasselbe Verfahren ist, das er in dem Briefe an BAUMANN als das der alten Optiker abschätzig bespricht. Davon unterscheidet er (47 γ) feinpoliertes Glas und meint damit vielleicht nach (49 β) das Verfahren, womit man „Glas auf einer Harzplatte mit nassem Eisenoxyd „poliert". Es ist wohl möglich, daß diese heute in den besten Werkstätten bevorzugte Vorschrift damals auf die bayrische Anstalt beschränkt blieb. — Was die Prüfung mit dem Probeglas angeht, so habe ich nur (46/7) gefunden, wo er von den Farben spricht, „welche durch Berührung von zwei „polierten ebenen Glasflächen entstehen". Daß er öffentlich keine nähere Kunde von diesem Verfahren gab, erklärt sich aus seiner grundsätzlichen Stellung zu den Fabrikgeheimnissen (45 β). Auch in der Werkstätte werden sie zunächst geheimgehalten worden sein, und das Probeglasverfahren blieb es auch, wenn der folgende Schluß richtig ist. Dieses Verfahren ist STAMPFERN unbekannt (47/8), obwohl das Wiener polytechnische Institut den besonders geschickten Arbeiter STARK aus München gewonnen hatte, einen Angestellten, der FRAUNHOFERN beim Zusammensetzen und Ausrichten der größeren Objektive, auch des später nach Dorpat gelieferten, behilflich gewesen war. Andere der soeben beschriebenen Vorkehrungen, so die Pendelschleifmaschine und der besonders feine Fühlhebel, wurden, wie E. VOIT (6) hervorhebt, von J. J. PRECHTL nacherfunden und 1828 veröffentlicht. Eine bloße Bemerkung über das Ausrichten, so daß die Achsen der Gläser vollkommen in eine Linie gebracht wurden, findet sich 1824 bei FRAUNHOFERS Bericht über den großen Refraktor (170 γ). Bei dem gleichen Anlaß (170 α) läßt er auch erkennen, daß er seiner Förderung der Schleif- und Polierverfahren, teils durch Erfindungen, teils durch Entdeckungen ermöglicht, ein entscheidendes Gewicht für eine genügende Annäherung an die ideale Kugelform beilegte.

Wendet man sich nunmehr dem Rechenverfahren zu, die der Meister für die Anlage seiner Objektive verwandt hat, so möchte man nach seiner Äußerung (24 α) auf manche mißlungene Versuche der Frühzeit schließen. „Wenn bei achromatischen Objektiven die Abweichung wegen der „sphärischen Form der Flächen vollkommen gehoben sein soll, so müssen, bei Berechnung derselben, die angenommenen Exponenten der „Brechungsverhältnisse der mittleren Strahlen in „beiden Glasarten für einen und denselben farbigen „Strahl gehören; gehören sie für zwei verschiedene „Strahlen, so ist, der genauesten Rechnung ungeachtet, diese Abweichung nur unvollkommen „gehoben. Da man sich durch die Entdeckung „der Linien im Farbenbilde hiervon vollkommen „versichern kann, so ist der Nutzen der Linien „auch zur Vernichtung dieser Abweichung von „Bedeutung." Daß er an verschiedenen Objektiven sofort nach der Gewinnung genauer Brechzahlen die Kugelabweichung strenge mindestens bei den Versuchen gehoben hat, die zur Ermittlung des wünschenswerten Brennweitenverhältnisses der beiden Objektivlinsen hergestellt wurden, geht aus seinen eigenen Worten (22 β) hervor.

Daß das große 9-zöllige Objektiv — es wurde auf der Münchner Gewerbeausstellung im Dezember 1819 ausgestellt und trug FRAUNHOFERN eine der 10 damals verteilten Schaumünzen ein — nur eine zerstreuende gegen drei sammelnde Flächen aufweise, wurde in der bayrischen Fachpresse verkündet.

Die bewundernden Zeitgenossen haben sehr bald dem Grade nachgespürt, mit dem FRAUNHOFER die Kugelabweichung vernichtete, und von den berühmteren Arbeiten ist die von FR. W. BESSEL zu nennen, während sich 1828 S. STAMPFER in einer besonders eingehenden Weise mit der Untersuchung einer ganzen Anzahl FRAUNHOFERscher Objektive (offenbar von dem Wiener polytechnischen Institut bezogener Mechanikerobjektive) beschäftigt hat. Seine Bemerkungen sind ungemein lehrreich, und durch sorgfältige trigonometrische Durchrechnung konnte er deutlich auf den Fehler der Farbenverschiedenheit der Kugelabweichung hinweisen. Seine Absicht war durch den Wunsch gegeben, der in Wien aufblühenden optischen Technik nützliche Dienste zu leisten, und ihm verdanken wir die Mitteilung (75/6), daß FRAUNHOFER kleinen Objektiven mit einem Durchmesser von 18″ (= 4 cm) eine besonders einfache Form — Innenflächen gleich, letzte Außenfläche plan — gegeben hat, bei der allerdings die Kugelabweichung nicht gehoben war. Außerdem habe er nach (43 γ) in früherer Zeit ein stärker brechendes Flint $n = 1{,}6336$ verwandt und es später, wohl von 1818, ab zugunsten eines leichteren mit $n = 1{,}6165$ verlassen.

Die genaue Untersuchung, die STAMPFER einem seiner neueren FRAUNHOFERschen Objektive angedeihen ließ, brachte ihn vor die Frage, welche vierte Bedingung — außer der Maßstabsgleichung, der Farbenhebung, der Hebung der Kugelabweichung — der Meister mit seinen vier Krümmungshalbmessern erfüllt habe. Er entscheidet sich schließlich (81 α) dafür, daß dabei die Kugelabweichung auch noch für einen Achsenpunkt in der Entfernung von $-40\,f'$ gehoben worden sei, um die Güte seiner Ausführung rasch an einer ferneren Schriftprobe prüfen lassen zu können.

In einer solchen wohlbedachten Art wurden die Wiener Optiker von den Vertretern der Wissenschaft gefördert, und es gelang ohne jede Frage zunächst eine merkliche Erhöhung und Steigerung optischer Kunst in Wien. Gerade wenn J. v. LITTROWS bitterer Hohn, wie wir ihn in der Mitteilung bei S. MERZ (16/7) ausgesprochen finden, wirklich zutrifft, muß man die Geduld und das Erziehungsgeschick der Gelehrten am polytechnischen Institut besonders anerkennen, daß sie ihre Pflegebefohlenen trotzdem auf eine solche Höhe heben konnten. Denn in der Tat kam es in der Hauptstadt Österreichs nur 12 Jahre nach dem STAMPFERschen Aufsatze zu der glänzenden wenn auch nur kurzen Blüte, die das Zusammenarbeiten J. PETZVALS mit W. FR. VOIGTLÄNDER heraufführte.

Als es sich dann in den 50er Jahren darum handelte, für die von C. A. STEINHEIL in München begründete Anstalt die führende Stellung zurückzugewinnen, da hat sich dessen mathematischer Berater L. PH. SEIDEL in einem seiner ausgezeichneten theoretischen Aufsätze auch zur Anlage der FRAUNHOFERschen Objektive geäußert und die Ansicht vertreten, FRAUNHOFER habe durch planmäßige Versuche mit trigonometrischer Berechnung auch auf die Fehler außerhalb der Achse Rücksicht genommen oder in unserer heutigen Ausdrucksweise die *Sinusbedingung* erfüllt. Er schlug schon 1856 vor, bei einer von der Kugelabweichung hinreichend befreiten Anlage die Gleichung $S_2 = 0$ als die FRAUNHOFERsche Bedingung zu bezeichnen. Tatsächlich handelt es sich dabei um den Ausdruck, zu dem die ABBEsche Sinusbedingung bei der Beschränkung auf Strahlenbündel kleiner Öffnung wird. Ganz neuerliche trigonometrische Durchrechnungen zweier älterer zweifacher FRAUNHOFERscher Fernrohrobjektive von 55 und 115 cm Brennweite haben hier gezeigt, daß ihre rechnerische Anlage (mit Einschluß der Sinusbedingung) auch heute nicht übertroffen werden könnte.

Geht man nach dieser Behandlung unserer geringen Kenntnis der Entwicklung seiner Bearbeitungs- und Rechenverfahren auf FRAUNHOFERS Tageswerk in dem Betriebe zurück, so brauchen wir uns hier nicht um die Schwierigkeiten zu kümmern, die es mit dem Schmelzmeister GUINAND gegeben hat. Das wenige, was man darüber vermuten kann, ist schon auf S. 546 behandelt worden; vgl. aber auch S. 553.

Über die Eigentümlichkeit FRAUNHOFERS als Vorgesetzten erfahren wir nur wenig. Es sieht nicht so aus, als habe er mit dem im Jahre 1809 im 62. Lebensjahre stehenden GUINAND je zu

einem Zusammenwirken kommen können; doch mag das an dem natürlichen Widerstand des Schmelzers gegen den sein Werk endgültig beurteilenden Leiter der optischen Abteilung gelegen haben.

Nach seinem 1816 über die Prüfung des Stuttgarter Optikers STRAHL eigenhändig erstatteten Bericht wird man schließen, daß er neue Kräfte mit einer völlig überlegenen Sachkunde auf Herz und Nieren prüfte, mit Entlassungen nicht eben eilig war, aber einen minderwertigen Angestellten auch bei sehr groben Vorarbeiten ließ.

Nach den Verhandlungen J. UTZSCHNEIDERS mit GEORG MERZ im Juli 1826 wegen der Nachfolge wird man geneigt sein, an eine große und ständig geübte Zurückhaltung bei FRAUNHOFER zu glauben. Nach dem Ausscheiden R. BLOCHMANNS 1818 ist er allem Anscheine nach in dem Betriebe selbst ohne persönlichen und wissenschaftlichen Anschluß gewesen. Auch scheint er bei dieser an sich zweifellos wünschenswerten Geheimhaltung seiner Sonderkenntnisse an keinen Nachfolger aus dem eigenen Betrieb für seine Stellung gedacht zu haben. Daß er sich darüber mit C. A. STEINHEIL unterhalten habe, wird berichtet.

Was er in seiner unermüdlichen Tätigkeit als Lehrmeister für den ihm unterstellten Betrieb bedeutete, ist heute kaum mehr richtig zu bewerten: Er war imstande, aus dem Nichts — von der damals deutschen Optikern möglichen Schulung hat er 1816 jedenfalls sehr wenig gehalten — einen optischen Feinbetrieb allerersten Ranges hervorzurufen, und seine näheren Landsleute — GEORG MERZ, sein schließlicher Nachfolger, war aus der Nähe von Benediktbeurn gebürtig — in einer Weise auf eine sorgfältige Ausführung zu schulen, die damals ihresgleichen nicht hatte. Im Verlaufe der Zeit werden wir darauf noch gelegentlich zurückzukommen haben, doch sei hier ein einzelnes Zeugnis eines Augenzeugen herangezogen. Wie man aus dem 12. Bande dieser Zeitschr. 1924, S. 789 *r.* entnehmen kann, war ein vermutlich dänischer Optiker nach seiner Ausbildung in Benediktbeurn ganz erstaunt, die nur behelfsmäßigen Einrichtungen in Paris kennenzulernen. Und Paris hatte doch seit den PASSEMENTschen Arbeiten am farbenfreien Fernrohr vom Jahre 1761 einen Vorsprung von etwa 45 Jahren!

Mit dem äußeren Betriebe des ihm unterstellten Werkes scheint er zunächst nicht viel zu tun gehabt zu haben, so möchte man nicht glauben, daß die dürftige Anzeige vom Jahre 1811 mit seiner inneren Billigung ausgegeben worden sei. Erschienen damals doch noch einfache Theatergläser zu erstaunlich billigen Preisen, worauf schon auf S. 545 hingewiesen worden ist. Dagegen wurden 1811 Handfernrohre in etwas größerer Zahl angeboten, und zwar in der damals allein verkäuflichen äußeren Form; das waren mit Holz- oder Lederbekleidung (gelegentlich auch mit einer Schmelzschicht) versehene Außenrohre, in denen sich messingene Auszüge straff passend bewegten. Diese Form war vermutlich etwa 30 Jahre zuvor zuerst auf dem Markt gewesen, und zwar hatte sie das weltbekannte DOLLONDsche Haus angeboten, dem damit andere Hersteller in England und auf dem Festlande gefolgt waren.

Daß im Jahre 1812 ein Objektiv von 7″ (= 19 cm) in Angriff genommen und vollendet wurde, wissen wir aus BAUERNFEINDS Darstellung.

Der nächste sicher zu datierende Abschnitt, immer von den Glasarbeiten abgesehen, war REICHENBACHS Ausscheiden aus dem Benediktbeurner Unternehmen am 17. Februar 1814, womit FRAUNHOFER natürlich von selbst einen weiteren Wirkungskreis erhielt.

Vielleicht ist damit auch die erste eingehende Liste des Betriebes vom Jahre 1816 in Zusammenhang zu bringen, die in der wissenschaftlichen Fachpresse[1]) erschien. Von den fertigen Geräten, über die noch zu handeln sein wird, zu schweigen, findet sich nunmehr zuerst auch ein Angebot von Einzelteilen, nämlich von Fernrohrobjektiven in Ringfassung, wahrscheinlich mit eingestochener Herkunftsbezeichnung.

Der Grund zu diesem, wie gesagt, für die optischen Betriebe jener Zeit ungewöhnlichen Angebot war durch die enge Verbindung gegeben, in der das damalige Benediktbeurner Unternehmen zu REICHENBACH, dem früheren Teilhaber, stand. Dieser hatte in seiner vornehmlich mechanischen Werkstatt, wie C. M. v. BAUERNFEIND berichtete, eine ganze Anzahl geschickter Mechaniker ausgebildet, die ihre Sternrohre nunmehr mit FRAUNHOFERschen Linsen versehen konnten. Wir wissen, daß wohlbekannte Betriebe, z. B. das Polytechnische Institut zu Wien, noch nach 1828 von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht haben. FRAUNHOFER ging in seiner Anzeige damals zu 5″ (= 13,5 cm), was selbstverständlich schon einen zuverlässigen Schluß auf die Sicherheit seiner Hoffnung zuläßt, Glasstücke solchen Durchmessers von seiner Hütte regelmäßig geliefert zu erhalten.

Man wird annehmen können, daß die größere Sicherheit in der Erzielung brauchbarer Schmelzen und die unvergleichliche Schärfe bei der Bestimmung der Brechzahlen auch Außenstehenden bekannt wurden, und so ist es nicht verwunderlich, daß man bei FRAUNHOFER anfragte, ob er nicht Mitteilungen von seinem neuen Verfahren machen wollte. Er sagte zu und verfaßte zum Jahre 1817 seine denkwürdige Arbeit „Bestimmung des

[1]) Ich weiß nicht, auf wen (ob auf UTZSCHNEIDER oder auf FRAUNHOFER) der Brauch in Benediktbeurn zurückgeht, die Preislisten in allgemein-wissenschaftliche Zeitschriften aufnehmen zu lassen. Soviel ich sehe, ist das von etwa 1816 ab geschehen und etwas Neues gewesen; vorher scheint man auch in Benediktbeurn dafür lose Blätter bevorzugt oder — in England vielfach — an technische Bücher des Geschäfts Preislisten hinten angebunden zu haben. Namentlich in SCHUMACHERS vielgelesenen „Astronomischen Nachrichten" hat dieses neue Vorgehen Schule gemacht und dem heutigen Geschichtsforscher vielfach wichtige Quellen erhalten.

„Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens „verschiedener Glasarten, in bezug auf die Ver„vollkommnung achromatischer Fernrohre". Sie ist in einem Aufsatze an anderer Stelle[1]) gewürdigt worden, wohin sie nach ihrem wesentlichen Inhalt gehört.

Der letzte Anlaß zu der soeben schon erwähnten Arbeit wurde durch FRAUNHOFERS Wunsch geboten, sich seiner am 15. Februar 1817 erfolgten Ernennung zum auswärtigen Mitgliede der Münchener Akademie würdig zu erweisen. Für die damalige Zeit mit ihrem weitverbreiteten Gelehrtenzunftgeist war eine solche, einem Gewerbsmann ohne akademische Bildung erteilte Ehrung so ungewöhnlich, daß wir uns heute nur schwierig eine richtige Vorstellung von ihrer Bedeutung nach außen verschaffen können; wahrscheinlich wird UTZSCHNEIDERS Einfluß das beste dazu getan haben; denn daß die Münchener Akademie auch nicht ohne Engherzigkeit war, sollte FRAUNHOFER selbst wenige Jahre darauf bei einem uns ganz geringfügig erscheinenden Anlaß erfahren.

Wendet man sich jetzt ganz kurz zu den FRAUNHOFERschen Bestrebungen, die Mikroskope zu verbessern, so sollte die auch hier durchgeführte Farbenhebung weiter kein Erstaunen erregen, hatte doch das von ihm gründlich durchgearbeitete KLÜGELsche Lehrbuch solche Verbindungen gefordert. Wir wissen aus den ersten beiden Preislisten, daß schon im Jahre 1811 ein Mikroskop mit 4 farbenfreien Objektiven und zu 150 S.-M. angeboten wurde, worauf dann im November 1812 noch ein kleineres Mikroskop mit 3 farbenfreien Objektiven zu 113 S.-M. folgte. Im September 1816 findet sich dann ein viel größeres, besonders zu Messungen bestimmtes Gerät mit 6 farbenfreien Objektiven zu etwa 1000 S.-M.

H. v. MOHL hat 1846 — also 20 Jahre nach FRAUNHOFERS Tode — auf Grund eigener Prüfung darüber das Urteil abgegeben, daß diese verkitteten Zwillingslinsen für stärkere Vergrößerungen nicht geeignet waren: FRAUNHOFERN habe offenbar die Beratung durch einen erfahrenen Mikroskopiker gefehlt. Hr. H. BOEGEHOLD hat 1924 darauf hingewiesen, daß an FRAUNHOFERS feinsten Gittern, die er nicht mehr recht trennen konnte, Strichabstände von etwa 3,3 μ vorlagen. Bei der um 1823 allein bekannten geraden Beleuchtung wäre also eine Öffnungszahl $n \sin u = 0{,}17$ notwendig gewesen, die demnach von seinen Anlagen nicht wesentlich übertroffen worden sein wird.

Schon bald nach der Anerkennung durch die Akademie werden die Sorgen der Betriebsleitung wegen der Verlegung des Schleifbetriebes nach München begonnen haben. J. UTZSCHNEIDER verkaufte wohl im Jahre 1818 seinen Benediktbeurner Besitz an den Staat; doch durfte die Glashütte weiter dort bleiben, mit der sich UTZSCHNEIDER von Anfang an ja besonders beschäftigt hat. Aus einem glücklicherweise erhaltenen Brief FRAUNHOFERS an UTZSCHNEIDER wegen dieser Verlegung wissen wir, daß damals schon GEORG MERZ einen Vorarbeiterposten zu FRAUNHOFERS Zufriedenheit ausfüllte. Auch TH. (32) erwähnt diesen Helfer, den FRAUNHOFER schon seit dem Jahre 1811 seiner bescheidenen Tätigkeit — er war ein „Schürbube", etwa ein Heizerjunge — entzogen hatte, um ihn besser zu schulen. Er verwandte ihn zu den zweiten Berechnungen für die Objektive, die er der Sicherheit wegen und zur Bestätigung der seinigen von dieser Hilfskraft ausführen ließ.

1819 wurde die Übersiedlung des optischen Betriebes nach München vollzogen, und damit steht es wohl in innerem Zusammenhang, daß am 20. Februar 1820 ein neuer Vertrag zwischen FRAUNHOFER und UTZSCHNEIDER geschlossen wurde, von dem der Letztgenannte einige kurze Mitteilungen in seinem Nachruf gemacht hat. Gewiß muß man die Überweisung[1]) eines Betrages von 10000 Gulden (= 17000 G.-M.) als ein Zeichen guten Willens anerkennen; aber es ist doch ziemlich wahrscheinlich, daß er sich über das Einkommen FRAUNHOFERS allzu günstige Anschauungen bildete, worauf bald noch hinzuweisen sein wird.

Die Übersiedlung nach München, dem Sitz der Akademie, der er als auswärtiges Mitglied angehörte, wird FRAUNHOFERN bald veranlaßt haben, sich zum Besuche der Sitzungen zu melden. Damit begegnete er aber Schwierigkeiten, die uns heute ganz unglaublich erscheinen: Man nahm an seiner dürftigen Vorbildung Anstoß, die er doch wahrlich durch Selbstunterricht und ungewöhnliche technische Leistungen ausgeglichen hatte, und machte Anstand, ihn zuzulassen. Es ist wieder ein Erlebnis, wie es entsprechend K. FR. v. KLÖDEN (319/20) erzählt hat, als der Berliner Geschichtsprofessor FR. RÜHS 1811 urplötzlich den früheren, ganz freundschaftlichen Verkehr mit ihm abbrach, weil er erfuhr, daß sein bescheidener Besucher keine Universitätsbildung hatte.

Immerhin mischten sich in FRAUNHOFERS Falle gute Freunde, namentlich wohl der Bergrat SOLDNER, ein, und man ernannte den ‚Opticus' FRAUNHOFER zum „außerordentlichen besuchenden Mitgliede", so daß er den Sitzungen beiwohnen konnte und doch den zunftgerechten Gelehrten nicht gleichgestellt ward. Die erste große Arbeit über die Beugung des Lichts liefert dem heutigen Leser einen mehr als genügenden Beweis von der Würdigkeit des außerordentlichen Mitgliedes, und man wird annehmen können, daß es diese meisterhafte Arbeit war, die ihm die Ernennung zum Ehrendoktor Erlangens eingebracht hatte.

[1]) M. v. ROHR, FRAUNHOFERS Forschungen zur Glasbeschaffenheit und Farbenhebung sowie seine Leitung der Glashütte zu Benediktbeurn. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 46. 1926. (Juniheft.) S. a. S. 553.

[1]) Die Zeit dieser Überweisung ist strittig; während sie nach dem UTZSCHNEIDERschen Nachruf ABBE und andere auf das Jahr 1809 setzen, schreibt sie BAUERNFEIND (18 α) erst dem Februar 1820 zu. Da der Letztgenannte möglicherweise genauere Überlieferungen hatte, so sei hier dessen Annahme wiedergegeben.

Inzwischen hatte er im November 1820 die letzte von ihm selber herausgegebene Preisliste des optischen Betriebes herausgebracht, und man kann, wie das schon in dieser Zeitschr. **12**, 786 *r.* geschehen ist, darauf hinweisen, daß er die ringgefaßten Objektive nun schon bis zu Durchmessern von 6″ (= 16,2 cm) anbieten konnte.

An dieser Stelle mag zweckmäßig der Hinweis stehen, daß die Alleinherrschaft der Münchener Werkstätte gerade jetzt untergraben wurde: Man darf eben die Bedeutung nicht unterschätzen, die den endlich mehr oder minder gelungenen Bemühungen P. L. GUINANDS um große Scheibenpaare zukam. Das Pariser Handwerk, namentlich seine angesehensten Vertreter N. J. LEREBOURS und R. A. CAUCHOIX, nahm ihm die großen Scheiben auch dann zu guten Preisen ab, wenn sie nicht tadellos waren. Aus solchem Erwerb hatte N. J. LEREBOURS bereits 1819 ein Doppelobjektiv von $7^1/_2$ Zoll (= 20 cm) vollendet, was nach V. (20) in München mindestens schon 1820 bekanntgewesen ist. Man hat dort demgegenüber durch den Akademiker J. K. YELIN die größere Güte des FRAUNHOFERschen 9-Zöllers ($24^1/_2$ cm) vertreten lassen, aber anscheinend die Größe der Gefahr noch immer unterschätzt. Wahrscheinlich ist es dieses 20 cm-Objektiv, das später für die Sternwarte von Paris angekauft wurde. Dieser große Pariser Refraktor aus der Werkstatt von LEREBOURS wurde namentlich von J. SOUTH 1825 ungemein angestaunt und als ein Meisterstück der optischen Kunstfertigkeit hingestellt. Wir müssen heute nach den nicht weiter anzuzweifelnden Berichten — sie wurden etwa 30 Jahre danach von LE VERRIER und N. P. LEREBOURS, dem Sohne des ausführenden Optikers, abgestattet — diese Begeisterung zu einem guten Teile durch den Reiz der Neuheit erklären.

Da ich keine Erfahrung in Sternbeobachtungen besitze, so habe ich mich dafür an einen Astronomen vom Fach, meinen Kollegen W. VILLIGER, gewandt, der mir die folgende dankenswerte Auskunft gab:

„Ein Objektiv von 8,4 englischen Zoll freier „Öffnung muß, wenn von bester Ausführung, noch „Doppelsterne von 0,6″ Distanz bei gleicher „mittlerer Helligkeit der Komponenten von der „ca. 6. Größenklasse trennen. Die von SOUTH „beobachteten Doppelsterne hatten 1825 folgende „Distanzen:

	Distanz:	Helligkeit der Komponenten:	
„ζ Leonis	$2''.6$	2^m	$4.^m2$
„ω Leonis	$1''.0$	$6.^m2$	$7.^m0$

„Diese Doppelsterne sind mit einem guten Objek„tiv von 6 englischen Zoll Öffnung zu trennen. „Die Leistungen des 8,4-inch-Objektivs sind nach „diesen Beobachtungen als mäßig zu bezeichnen."

„Ein Doppelstern mit der Bezeichnung

y Leonis

„ist in der Literatur nicht auffindbar, vermutlich „liegt hier ein Druckfehler vor, es soll wohl heißen „γ Leonis. Dieser Doppelstern hatte 1825 2″ Di„stanz, die Komponenten haben 2,2 und 3,2 Größen„klassen. Bei dem geringen Helligkeitsunter„schied muß γ Leonis auch bei 8,4 Zoll sehr leicht „zu trennen sein."

Aber wenn auch in diesem Falle die Vollendung des Dorpater Rohrs nicht entfernt erreicht worden war, so hatte die bloße Tatsache, daß ein großes achromatisches Objektiv von einem französischen Optiker hergestellt worden war, auf den reichen Liebhaberastronomen J. SOUTH einen solchen Einfluß, daß er einem anderen Pariser Künstler, R. A. CAUCHOIX, ein noch etwas größeres Objektiv abkaufte, das freilich noch lange tatenlos ruhen sollte. Auf den Gedanken, sich etwa selber nach München zu einem Vergleich der dortigen Himmelsfernrohre mit den Pariser Geräten zu begeben, scheint J. SOUTH überhaupt nicht gekommen zu sein.

Daß CAUCHOIXs Neffe ROSSIN ziemlich bald danach, 1836, Objektive noch größeren Durchmessers plante — wir wissen von ihrem weiteren Schicksal nichts —, beweist, daß die 1816 getroffene Entscheidung UTZSCHNEIDERS in seinem Streite mit GUINAND ihre verhängnisvollen Früchte zu tragen begann: UTZSCHNEIDERS hohes Selbstbewußtsein in seiner Äußerung vom Jahre 1829 wirkt auf den Geschichtskundigen heute sehr betrübend: offenbar war es ihm noch gar nicht recht zum Bewußtsein gekommen, daß sich sehr kaufkräftige Kunden schon längst an Pariser Werkstätten um große Objektive wandten. Er war eben alt geworden und täuschte sich über die allgemeine Lage, weil er nicht sehen wollte.

Wie diese Vorgänge auf FRAUNHOFER wirkten, wissen wir nicht, da wir über seinen Anteil an der kaufmännischen Leitung gar nicht unterrichtet sind, ja nach seinem an SCHUMACHER gerichteten Klagebriefe annehmen müssen, daß er seinen Einfluß, wenn überhaupt, nur durch persönliche und ziemlich peinliche Einwendungen geltend machen konnte.

In das Jahr 1823 fällt sein Gesuch um eine Besoldung als Akademiker, das, wie oben schon angedeutet wurde, doch wohl als eine Widerlegung der UTZSCHNEIDERschen Annahme seiner sorgenfreien Stellung aufgefaßt werden muß. Denn wenn ein Mann wie FRAUNHOFER mit bemerkenswert bescheidenen Ansprüchen an das Leben ohne einen Zuschuß von 800 fl (= 1370 G.-M.) mit seiner Bezahlung vom Geschäft nicht auskam, so wird sie eben ungenügend gewesen sein.

Die glückliche Vollendung des Dorpater Refraktors mag ihm eine große Genugtuung bereitet haben, zumal das begeisterte Zeugnis des ihm befreundeten Astronomen STRUVE den Ruhm seiner Leistung in die Welt hinausschallen ließ.

Die Spiegelrohre wurden von FRAUNHOFER 1824 bei dem Bericht über das große Linsenrohr für Dorpat namentlich wegen ihrer Lichtschwäche abfällig beurteilt. Er kannte im Gebrauch allein die NEWTONsche Anlage, die bei Spiegelrohren auf dem Festlande wohl so gut wie ausschließlich

im Gebrauche stand, und wandte sich gegen den dabei unvermeidlichen Lichtverlust. Für eine einzelne Spiegelung wurde der verwertbare Anteil des einfallenden Lichts damals auf 0,673, also für zwei Spiegelungen auf $0{,}673 \times 0{,}673 = 0{,}453$ veranschlagt. Hält man dagegen den Spiegelungsrest von etwa 0,90 eines aus 2 Linsen bestehenden Fernrohrobjektivs aus Kron und Flint, so bekommt man einen Begriff von der Stellung, die FRAUNHOFER in diesem Streit eingenommen hat; dabei hat er noch nicht einmal den Nachteil des Beschlagens der Spiegelflächen hervorgehoben und die Notwendigkeit, mehrere Spiegelsätze zum Auswechseln zu haben.

Es ist ganz verständlich, daß J. FR. W. HERSCHEL, der fähige Sohn des großen Astronomen und erfolgreichen (s. S. 539) Erbauers von Spiegelrohren, für die Arbeit seines Vaters eintrat, zumal ja das besonders viel benutzte 6 m-Rohr in Slough mit seiner einzigen Spiegelung viel lichtstärker war als die auf dem Festlande vorhandenen Stücke NEWTONscher Bauart. Immerhin hat sich die HERSCHELsche Anlage auf dem Festlande nicht verbreitet, und auch J. SOUTH, 1825 noch HERSCHELS Mitkämpfer gegen FRAUNHOFER, scheint gegen das Ende dieses Jahrzehnts zu den (französischen) Linsenrohren von großem Durchmesser abgeschwenkt zu sein. Freilich muß man auch wieder darauf hinweisen, daß eine Größe wie G. B. AMICI noch 1825 regelmäßig ausgezeichnete Spiegelrohre NEWTONscher Anlage mit 30,5 cm Öffnungsdurchmesser lieferte, und daß J. J. PRECHTL 1828, trotzdem er kurz vorher das Lob der FRAUNHOFERschen Glasschmelzkunst in hohem Tone gesungen hatte, für seine Zeitschrift einen Aufsatz schrieb, der die großen Spiegelrohre empfahl. Soweit ich unterrichtet bin, haben sich aber die Wiener Künstler damals den Spiegeln nicht zugewendet.

Und als im wesentlichen durch die Bemühungen französischer und westschweizer Schmelzmeister etwa seit den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts große Objektivscheiben erstanden werden konnten, da haben die Astronomen den Weg eingeschlagen, den FRAUNHOFER ihnen weitschauend gewiesen hatte. Daß er 1824 die Bedeutung der Spiegel für Stern*aufnahmen* nicht gewürdigt hat, wird man ihm heute nicht verübeln.

Schon oben war darauf hingewiesen worden, daß FRAUNHOFER mit dem jungen C. A. STEINHEIL den Gedanken durchgesprochen haben soll, ihn als seinen Nachfolger zu berufen. Man hört, daß nach dem Heimgange des Meisters UTZSCHNEIDER selber diese Möglichkeit weiterverfolgt habe, freilich ohne zu einem Ziele zu kommen. Berücksichtigt man die für Tatkraft und Unternehmungsgeist zeugende Tatsache, daß STEINHEIL schon 1847 eine ganz ausführliche Liste von Geräten veröffentlichte, die bei ihm erstanden werden könnten, so muß man es für die alte Münchener Werkstätte lebhaft bedauern, daß 1826 aus der Berufung des jungen Gelehrten nichts geworden ist. Namentlich sein freundschaftliches, erfolgreiches und bis in die letzte Zeit seiner Leitung der neugegründeten Werkstätte fortgesetztes Zusammenarbeiten mit dem um nahezu 20 Jahre jüngeren L. PH. SEIDEL wäre zweifellos dem alten Betriebe, wenn auch noch nicht gleich 1826, so doch mit der Zeit von hohem Nutzen geworden. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß STEINHEILS ablehnender Bescheid bald fiel, so daß UTZSCHNEIDER auf diese Ablehnung hin den noch vorhandenen Vertrag mit GEORG MERZ um das Ende des Julis von 1826 schloß. So gut geschult auch der neue Werkmeister war (s. S. 549), so hat er doch FRAUNHOFERN auf seiner rein wissenschaftlichen Bahn der Forschung und Weiterbildung nicht folgen können; er war darauf beschränkt, den guten Ruf der Werkstätte namentlich für große Himmelsfernrohre und deren Aufstellung zu bewahren.

Mithin wich mit FRAUNHOFERS Sterben auch hier der Geist rein wissenschaftlicher Weiterarbeit aus dem Münchener Unternehmen, das noch eben so reich begnadet gewesen war. Im deutschen Sprachgebiet ging die wissenschaftliche Führung leise aber unverkennbar nach Wien über, wo, wie bereits erwähnt, J. J. PRECHTL mit S. STAMPFER alles taten, um ihre tüchtigen Wiener Handwerker, J. FR. VOIGTLÄNDER und namentlich G. S. PLÖSSL, durch wissenschaftliche Anregungen zu fördern. Die Einflüsse der guten englischen Überlieferung, die seit VOIGTLÄNDERS Londoner Lehrzeit in diesen beiden Wiener Optikermeistern wirksam waren, erhielten namentlich durch STAMPFERS unermüdlichen Eifer um die Anlage der FRAUNHOFERschen Objektive eine wirksame Förderung infolge der Ergebnisse strenger Rechnung. Wenn man heute zu dieser hier zuerst auftretenden Arbeitsgemeinschaft des reinen Gelehrten mit dem reinen Techniker eine Bemerkung wagen darf, so möchte man fürchten, daß dem Handwerksmeister die wissenschaftlichen Anregungen gar zu willig entgegengebracht wurden. Immerhin hob sich das Fernrohrgeschäft Wiens deutlich, so daß sogar ein nicht leicht zu befriedigender Fachmann wie C. F. GAUSS seinen Beifall aussprach, und die ursprünglich von englischen Gelehrten stammende Anlage des Dialytfernrohrs erhielt durch das Zusammenarbeiten von STAMPFER und PLÖSSL in Wien ihre Verwirklichung: Nirgendwo sind sonst so große Fernrohre von dieser Anlage ausgeführt worden, worüber an leicht zugänglicher Stelle eingehendere Einzelheiten zu finden sind. Und all das war nur ein Anfang: Die höchste Blüte der von PRECHTL und STAMPFER geförderten optischen Bestrebungen zu Wien fällt, wie oben angedeutet, 14 Jahre nach FRAUNHOFERS Tode, wo das denkwürdige Zusammenarbeiten von PETZVAL und VOIGTLÄNDER begann und — leider nur für wenige Jahre — fortgesetzt wurde. Natürlich kann man nicht voraussagen, daß man damals in München ähnliche Glanzleistungen hätte vollbringen können; daß aber die ruhmreiche Werk-

stätte in demselben Orte, wo C. A. STEINHEIL und FR. v. KOBELL im April 1839 ihre denkwürdigen ersten Lichtbildaufnahmen auf deutschem Boden anfertigten, den der Optik neu eröffneten Möglichkeiten auch nicht einmal einen teilnahmsvollen Blick widmete, das war betrüblich, und der Lohn dafür hat denn auch auf dem eigentlichen optischen Gebiet nicht auf sich warten lassen.

Wendet man sich zu der Schilderung von FRAUNHOFER als Menschen, so wurde schon gelegentlich auf sein Verhältnis zu seinen Mitarbeitern und Untergebenen hingewiesen. Er scheint, selber von rastlosem Tätigkeitsdrange beseelt, an den Fleiß und die Geschicklichkeit der Untergebenen ungemein große Anforderungen gestellt und bei der Bewertung ihrer Dienste das Wohl der von ihm vertretenen Anstalt in erster Linie berücksichtigt zu haben.

Im Verkehr mit älteren Leuten der Gesellschaft, mag es sich um Männer wie J. UTZSCHNEIDER oder A. v. BAUMGARTNER gehandelt haben, denen er sich verpflichtet fühlte, oder um einflußreiche Gelehrte wie C. F. GAUSS, oder O. STRUVE, oder J. FR. W. HERSCHEL, so ist bescheidene Zurückhaltung wohl ein ganz hervorstechender Zug bei ihm. GAUSS und HERSCHEL haben das ausdrücklich hervorgehoben, HERSCHEL sogar in einer besonders warmen Form, da ihn die Sohnesliebe zu einer Entgegnung auf eine FRAUNHOFERsche Äußerung veranlaßt hatte. Ein A. v. BAUMGARTNERN in Dankbarkeit dargebotenes Fernrohr mit der Widmungsinschrift ist heute im Besitz der ZEISSischen Sammlung, auch mit J. UTZSCHNEIDER scheinen die Beziehungen trotz ständiger naher Berührung sehr angenehm geblieben zu sein, und UTZSCHNEIDER selbst wird, nach seinem Nachruf zu urteilen, kaum an irgendwelche Unzufriedenheit seines großen Mitarbeiters gedacht haben. Liest man die wenigen Briefe FRAUNHOFERS an ihn, so ist man erstaunt über die Bescheidenheit und Fügsamkeit eines Mannes ohne Jugenderziehung, der sich doch seiner Bedeutung für das ganze Unternehmen wohl bewußt war.

Aus einem durch REPSOLDS Sammlerfleiß bekanntgewordenen Brief ergibt sich ein Einblick in FRAUNHOFERS sonst sorgfältig verschlossenes Innere. Ihm war ähnlich wie Ende Juni 1815 zu Gonesse GNEISENAUN einmal der Geduldsfaden gerissen, und er klagte 1825 SCHUMACHERN sein Leid. Man erkennt, wie ihm das Wohl der Anstalt über alles geht, wie ihn seine Neigung in das Privatleben zu wissenschaftlicher Beschäftigung treibt, und wie er doch seine Stellung beibehält, obwohl ihn die mangelnde Anerkennung durch REICHENBACH und eine einigermaßen engherzige Geschäftsführung UTZSCHNEIDERS gelegentlich bitter verstimmten. Aber sein Pflichtgefühl war größer als seine Eigenliebe. Wen es nicht rührt, wie der totkranke Meister im Winter bei der Probe von Fernrohren am offenen Fenster seine Gesundheit schädigt, mit ersterbender Stimme vom Krankenbett aus seine Arbeiter anleitet und schließlich in den letzten Wochen vor seinem Tode einem Freunde Anweisungen zum Schmelzen von Kronglas in die Feder diktiert, wen das nicht rührt, der hat kein Herz für Menschenwert. Auch dieser Totkranke hatte keine Zeit müde zu sein und ist, wahrlich erhebend und groß, in den Sielen gestorben.

Die Persönlichkeit FRAUNHOFERS ist offenbar in München — es war ja auch mit seinen 76 000 Einwohnern 1827 noch keine Großstadt — vielleicht schon zu seinen Lebzeiten, besonders aber in den auf seinen Tod folgenden Jahren, von weiten Kreisen gewürdigt und anerkannt worden. Man kann dafür einmal den sehr geschmackvollen Geschichtstaler anführen, den König Ludwig I. 1826 auf die beiden soeben dahingeschiedenen Begründer der deutschen Feinmechanik und -optik, G. REICHENBACH und J. FRAUNHOFER, schlagen ließ. Daß FRAUNHOFERS Geburtsstadt Straubing schon 1827 mit einer Gedenktafel das Gedächtnis des großen Sohnes ehrte, kann ebenfalls ohne weitere Worte einfach gebucht werden. Am höchsten möchte ich für meine Person aber die Wirkung einschätzen, die der Münchener Maler J. K. STIELER auf den 79 jährigen GOETHE ausüben konnte, als er 1828 im Auftrage des Königs das schöne Bild des Altmeisters malte. Wir verdanken Herrn A. SEITZ[1]) die Kenntnis, daß GOETHE in einem 1829 geschriebenen Briefe an STIELER die Hebung der Farben im Fernrohrobjektiv sogar lobend anerkannt hat. Man geht schwerlich fehl, wenn man diese erfreuliche, anerkennende Äußerung unseres Größten auf die Gespräche mit dem Münchener Künstler zurückführt, der die Persönlichkeit und den wirtschaftlichen Erfolg des so jung verstorbenen Meisters GOETHEN mit eigenem innerem Anteil geschildert haben wird: Man weiß ja, welch großen Anteil dieser an technischen Unternehmungen der verschiedensten Art zu bezeigen gewohnt war.

Die seinem Leben häufig mangelnde Anerkennung seines Werts haben dem Toten seine Mitarbeiter und Freunde über den Sarg nachgerufen, sein Name wurde 1854 bei der Gründung der neuen Münchener Optischen Anstalt wie zum Segen an die Spitze gestellt, und ganz ähnlich hat ABBE 1887 an ihm wie an einem Musterbeispiel den Schulbegriff des wahren Optikers abgeleitet.

Wäre es diesen bescheidenen Zeilen vergönnt, den Ruhm des großen Optikers in die Welt zu tragen und den technischen Optikern als solchen die Dankesschuld klarzumachen, in der sie alle diesem Riesengeist gegenüberstehen, so würde ihrem Verfasser ein Herzenswunsch erfüllt sein: Sieht er doch in der Erinnerung an FRAUNHOFER eine besonders köstliche Hinterlassenschaft jener alten Zeit, und hegt auch er, mit dem Dichter zu reden, im tiefsten Herzen Lust und Freude an seiner Trefflichkeit und Herrlichkeit, am Ruhm und Wachstum seines großes Namens.

[1]) An der auf S. 545 Anm. 1 angegebenen Stelle S. 153 r.

Fraunhofers Forschungen zur Glasbeschaffenheit und Farbenhebung sowie seine Leitung der Glashütte zu Benediktbeurn[1]).

Von M. von Rohr, Jena.

Der Gegenstand dieses Aufsatzes ist einigermaßen schon an 2 Stellen dieser Zeitschr. (12, 781—797. 1924, v. 26. IX. und 13, 619—622. 1925, v. 10. VII.) behandelt worden; es handelt sich zeitlich in erster Linie um eine möglichst unparteiliche Auseinandersetzung zwischen P. L. GUINAND und FRAUNHOFER. Hierzu ist von dem Verfasser vor kurzem in dem Aufsatze „PIERRE LOUIS GUINAND, geb. den 20. April 1748, gest. den 13. Februar 1824, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 46, 121/37 und 189/97. 1926, 14 + März- und Aprilhefte" aus einer lange verborgenen Quelle manches Neue beigebracht worden, was in der vorliegenden Arbeit natürlich berücksichtigt worden ist. Man kann es kurz dahin zusammenfassen, daß UTZSCHNEIDER 1805 in dem Liebhaberschmelzer GUINAND einen ungemein erfindungsreichen und seiner Lieblingsbeschäftigung von ganzem Herzen ergebenen Mann angeworben hatte, der ohne jeden Zweifel FRAUNHOFERN seit 1809 in seine Kenntnis eingeführt hat. Nach den großen Fortschritten in der Größe der zum Kauf angebotenen Objektive seit 1812 etwa muß man heute schließen, daß die Arbeitsgemeinschaft von FRAUNHOFER und GUINAND in der Zeit ihres Bestehens vom Herbst 1809 bis gegen das Ende des Jahres 1813 große Fortschritte in der Verwertung des GUINANDschen Verfahrens gemacht hat.

Nicht zum geringen Teil wird das mit den ungemein strengen Prüfverfahren zusammenhängen, die FRAUNHOFER vom Anfang dieser Zeit an entwickelt hat. Der ungleichmäßige Gang der Zerstreuung in den beiden Gliedern des ein farbenfreies Fernrohr bildenden Glaspaares war ihm natürlich schon aus früheren Arbeiten bekannt, und er hat zunächst durch Filterscheiben gesättigtes Licht zu erhalten versucht. Die Unmöglichkeit, auf diese Weise zu seinem Ziele zu gelangen, brachte ihn auf sein wunderbar geplantes 6-Lampen-Gerät, das nicht so bekannt zu sein scheint, wie es verdient. Er hat mit dieser Vorkehrung ernstlich gearbeitet und auch noch die Schmelzen Kronglas Nr. 9 und Flintglas Nr. 13 genau untersucht, die im Sommer 1813 beide fertig vorlagen. Bei der Absicht, diese Vorkehrung für den Gebrauch von Sonnenlicht einzurichten, hat er dann die 1802 schon WOLLASTON aufgefallenen dunklen Linien wiedergefunden, sie aber, anders als dieser bedeutende Physiker Englands, als unverrückbare Meßmarken für die Kennzeichnung der optischen Eigenschaften des zu untersuchenden Glases verwandt. Eine Beeinflussung durch WOLLASTONS (hier auf S. 541 übersetzte) Äußerung ist möglich, doch hat FRAUNHOFER seine Auffassung und Verwertung dieser Erscheinung vermutlich als grundverschieden angesehen und darum eine Beziehung auf die ältere Arbeit vermieden.

Die Hinweise auf die Übereinstimmung der gelben Linien im Licht von Kerzenflammen mit der dunklen Doppellinie *D* des Sonnenspektrums, die mit diesem übereinstimmenden Linien im Licht der Venus und die davon abweichende Verteilung der Streifen im Fixsternlicht brauchen hier nur erwähnt zu werden, um unsere Bewunderung für den Forschergeist unseres Helden zu steigern.

In der ihm am wichtigsten erscheinenden Verwertung seiner Entdeckung auf optischem Gebiet ging er dazu über, den Gang der Zerstreuung durch Bildung der Teilverhältnisse (Flint : Kron) ziffernmäßig in aller Strenge festzustellen und die Möglichkeiten zu untersuchen, diesen Gang zu beeinflussen. Dabei kam er denn auf das denkwürdige Paar Flint 13 und Kron M mit merklich gleichmäßigerem Gange des Zerstreuungsverhältnisses.

Die Feststellung der Helligkeitsverteilung in dem ganzen auf das Auge wirkenden Farbenband wurde in einer mustergültigen Weise angeschlossen und dann auch die Farbenabweichung in der Flächenfolge des Menschenauges bestimmt, was uns einen weiteren Einblick in seine erstaunliche Leichtigkeit der Verfügung über die bereitstehenden Mittel liefert. Darin hat offenbar eine der stärksten Seiten seiner Begabung bestanden.

Äußerungen zu seinen eigenen Erfolgen als Schmelzer ließen sich seinen Schriften entnehmen, und man geht vielleicht nicht ganz irre, wenn man daneben einen sehr vorsichtig geführten Kampf gegen die inzwischen in Les Brenets eröffnete westschweizer Glashütte zu erkennen glaubt. Diese Vorsicht wird einmal durch FRAUNHOFERS Abneigung gegen den Federkrieg im allgemeinen geboten gewesen sein, sodann aber auch durch Rücksichten auf den Betrieb: man mag auch in Benediktbeurn nicht gewünscht haben, durch eine Erwähnung des hauptsächlichsten Wettbewerbers ihn vor die Augen möglicher Kunden zu bringen. In dieser eigenartigen Stellung zueinander haben die beiden ältesten Hütten für optisches Glas, die in Benediktbeurn und die in Les Brenets, jedenfalls so lange beharrt, wie die beiden Hauptleiter am Leben waren.

Es bleibt fraglich (s. auch S. 550), ob man 1816 in Benediktbeurn nicht besser getan hätte, die Mißstimmung über GUINANDS Handlungsweise hintan zu setzen und ihn wieder in den alten Betrieb aufzunehmen: Der Glaswettbewerb der Westschweiz und namentlich von Paris hätte sich dann vermutlich, wenn überhaupt, später und schwerer entwickelt, als es tatsächlich geschah. Unter allen Umständen scheint J. UTZSCHNEIDER in den Jahren bald nach FRAUNHOFERS Tode, wo allerdings der Lauf der Entwicklung schwerlich mehr auf so einfache Weise zu hemmen war, den Ernst der Lage entschieden unterschätzt zu haben. So war er auch nicht zu einer Lieferung von Glasgut an ausführende Optiker zu haben und entzog mit einer solchen Selbstbeschränkung seiner Benediktbeurner Hütte die zu ihrer Weiterentwicklung nötigen großen und häufigen Glasbestellungen fremder Häuser, die sonst vermutlich nicht ausgeblieben wären.

Mit FRAUNHOFERS Tode erlitt die wissenschaftliche Behandlung auch der Schmelzkunst einen schweren Schlag und ist für Deutschland erst durch das Zusammenarbeiten von E. ABBE und O. SCHOTT seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts mit dem bekannten Erfolge aufgenommen worden.

Ein vermutlich ziemlich frühes Bild FRAUNHOFERS ist beigegeben worden. Eigenbericht.

[1]) Zeitschr. f. Instrumentenkunde 46, 273—289. 1926, 3 + (Juniheft).

Vorder- und Rückseite des Geschichtstalers auf REICHENBACH und FRAUNHOFER nach einem von Herrn v. PFLUGK hergestellten Abguß.
In etwa $^9/_7$ der natürlichen Größe; der Durchmesser der Münze beträgt 38 mm.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.